

Title	日本語の存在表現に対する事象関連電位の分析
Author(s)	能村, 幸大郎
Citation	
Issue Date	2005-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/535
Rights	
Description	Supervisor: 藤波 努, 知識科学研究科, 修士

修 士 論 文

**日本語の存在表現に対する
事象関連電位の分析**

北陸先端科学技術大学院大学
知識科学研究科知識社会システム学専攻

能村 幸大郎

2005 年 3 月

修 士 論 文

日本語の存在表現に対する 事象関連電位の分析

指導教員 藤波努 助教授

審査委員主査 藤波努 助教授

審査委員 國藤進 教授

審査委員 永井由佳里 助教授

審査委員 西本一志 助教授

北陸先端科学技術大学院大学
知識科学研究科知識社会システム学専攻

350052 能村 幸太郎

提出年月: 2005 年 2 月

目次

第1章	はじめに	1
1.1	前書き	1
1.2	研究の背景	2
1.3	言語の事象関連電位	2
	なぜ、差の抽出が重要になるのか？	6
1.4	研究の目的と動機	6
1.5	本論文の構成	7
第2章	日本語の存在表現	9
2.1	「いる」と「ある」	10
	「いる」でも「ある」でも可能なカテゴリ	10
	なぜ、「ある」と「いる」にこだわるのか？	12
	面白さを擁護する理論 (プロトタイプ理論)	12
	面白さを擁護する理論 (関連性理論)	13
第3章	実験の環境	14
3.1	実験のシステム構成	14
3.2	脳波計 (EEG)	15
3.3	脳磁計 (MEG)	17
第4章	実験のデザイン	22
4.1	刺激文の作り方	22
4.2	刺激文の提示手順	23
4.3	提示するときの注意点	23
4.3.1	プライミング効果	24
第5章	存在表現における統語処理の強さを検証する実験 (ボタン押しなし)	26
5.1	方法	26
5.1.1	実験参加者	26
5.1.2	タスク	26
5.1.3	提示の工夫	27
5.2	結果	30

5.2.1	加算平均波形 (N=5)	31
5.3	統計処理	32
5.4	考察	34
第 6 章	存在表現における統語処理の強さを検証する実験 (ボタン押しあり)	36
6.1	方法	36
6.1.1	実験参加者	36
6.1.2	刺激文と提示方法の変更	37
6.1.3	データ解析の手順	43
6.1.4	被験者の選別	44
6.2	結果	45
6.2.1	統計処理	46
6.2.2	加算平均波形 (N=11)	50
6.2.3	t 検定を用いた新しい解析法の提案	53
6.2.4	MEG データとの対応	55
第 7 章	議論	62
	参考文献	64
	謝辞	65
	Appendix A	67
	ボタン押しなしの実験	67
	刺激文	69
	脳波波形	71
	ANOVA Table	77
	Appendix B	79
	ボタン押しありの実験	79
	インフォームド・コンセント	83
	エディンバラ・利き手テスト	84
	実験後のアンケート	85
	刺激文とそのパフォーマンス	87
	脳波波形	95
	統計解析	143
	MATLAB Source code	149
	file_open.m	153
	meanvar.m	153
	meanvar_only.m	154

ma_smooth.m	155
running_ttest.m	156
plot_ttest.m	157
plot_paired_ttest.m	158
format_plot.m	161
plot_trial_ttest.m	164
format_plot_trial.m	165
plot_trial_paired_ttest.m	168
format_trial_paired_ttest.m	170

目 次

1.1	潜時と振幅	3
1.2	言語のERP: N400	4
1.3	言語のERP: P600 & LAN	5
1.4	差異の抽出の重要性	7
3.1	実験システム	14
3.2	国際 10-20 電極法配置	15
3.3	使用した脳波電極装置	16
3.4	電極装着時の被験者	16
3.5	頭皮に対して水平成分の磁場が測定困難であることを示す図	18
3.6	電流伝導率と電流の広がり方を示す模式図 [3]	18
3.7	磁気シールドルーム	19
3.8	エアチューブ・イヤホン	20
3.9	実験中の被験者の状況	21
3.10	実験におけるモニタの状態	21
4.1	加算平均を行う上での注意点	25
5.1	実験(ボタン押しなし)の4条件の平均値の比較; 300ms-400ms 区間	33
5.2	実験(ボタン押しなし)の4条件の平均値の比較; 400ms-500ms 区間	33
5.3	実験(ボタン押しなし)の電極の平均値の比較; (左):300ms-400ms 区間, (右):400ms-500ms 区間	34
6.1	正誤判断をするためのボタン装置	36
6.2	刺激セットの提示手続き	39
6.3	刺激のランダム化の方法	41
6.4	近似的な乱塊法による刺激の提示	42
6.5	データ解析の手順	43
6.6	$\pm 50\mu V$ を閾値とするレベルリジェクションにかかった試行数	44
6.7	被験者毎: アンケートによる不適切文とボタン押しによる誤答数	45
6.8	被験者毎: 刺激文の適正率とボタン押しの正答率	45
6.9	被験者毎: 不適切文の数と誤答数の差	46
6.10	分散分析のフローチャート	47

6.11	実験(ボタン押しあり)の電極の平均値の比較; 300ms-400ms 区間	51
6.12	実験(ボタン押しあり)の4条件の平均値の比較; 300ms-400ms 区間	51
6.13	実験(ボタン押しあり)の電極の平均値の比較; 600ms-700ms 区間	52
6.14	実験(ボタン押しあり)の4条件の平均値の比較; 600ms-700ms 区間	52
6.15	時系列方向における対応のある t 検定(上)と時系列とトライアル方向にお ける対応のある t 検定(下)	55
6.16	正文と誤文の全 MEG チャンネル比較(被験者 11)	56
6.17	正文と誤文の磁場分布比較(被験者 11)	56
6.18	350ms における MEG と脳波の波形比較(被験者 11); 条件 (1 vs 2)	57
6.19	350ms における MEG と脳波の波形比較(被験者 11); 条件 (3 vs 2)	58
6.20	正文と誤文の全 MEG チャンネル比較(被験者 19)	59
6.21	正文と誤文の磁場分布比較(被験者 19)	59
6.22	350ms における MEG と脳波の波形比較(被験者 19); 条件 (1 vs 4)	60
6.23	350ms における MEG と脳波の波形比較(被験者 19); 条件 (3 vs 4)	61
7.1	N400 と LPC の仮説	63
7.2	解析を行った被験者	82
7.3	時系列 t 検定の例	149
7.4	2つのパラメータ	150
7.5	時系列・トライアル t 検定の概念図	151
7.6	ファイル構造	152

表 目 次

2.1 「いる」と「ある」の使い分けの基準	10
3.1 データ収集	15
3.2 システムスペック	17
4.1 実験で比較する刺激文	22
5.1 4条件の比較方法	30
5.2 Summary of repeated-measures ANOVA (実験 1); 条件 (1 vs 2)	32
5.3 Summary of repeated-measures ANOVA (実験 1); 条件 (1 vs 4)	32
6.1 被験者の選別	44
6.2 Summary of repeated-measures 2-way ANOVA ; (全体の検定, 8 電極 × 4 条件)	48
6.3 Summary of repeated-measures 1-way ANOVA ; (下位検定, 電極における条件)	49
6.4 多重比較を行うペアと帰無仮説	49
7.1 [ANOVA Table] 時間窓の平均 (300ms - 400ms) ; 条件 (1 vs 2)	77
7.2 [ANOVA Table] 時間窓の平均 (300ms - 400ms) ; 条件 (1 vs 4)	77
7.3 [ANOVA Table] 時間窓の平均 (400ms - 500ms) ; 条件 (1 vs 2)	77
7.4 [ANOVA Table] 時間窓の平均 (400ms - 500ms) ; 条件 (1 vs 4)	78
7.5 [ANOVA Table] 全体の検定 ; 時間区間 (300-400ms)	143
7.6 Mauchly の球面性検定 (300-400ms); (下位検定, 電極における条件)	143
7.7 [ANOVA Table] 全体の検定 ; 時間区間 (600-700ms)	144
7.8 Mauchly の球面性検定 (600-700ms); (下位検定, 電極における条件)	144
7.9 [ANOVA Table] 下位検定 ; 時間区間 (300-400ms)	145
7.10 [ANOVA Table] 下位検定 ; 時間区間 (600-700ms)	146
7.11 多重比較 (300-400ms) ; 対応のある t 検定 (Bonferroni の方法)	147
7.12 多重比較 (600-700ms) ; 対応のある t 検定 (Bonferroni の方法)	148

第1章 はじめに

1.1 前書き

人間の本性は、言語に宿る、と考えられている。言葉を読さなければ、相手が何を考えているのか分からない。また、言葉を使わなければ、自分の考えていることすら整理がつかない。

現在、言語と脳の研究が盛んに行われているが、この状況で一体言語について何が分かっていると言えるのだろうか。ありのままの言語現象を観察するだけでは物足りず、20世紀の後半に入って、我々はついに、脳を直接調べることによって、言葉の起源を探りはじめた。脳の容積を測定することで、脳の機能の全貌が解明されると信じていた骨相学の時代は過去のものである。脳の頭皮から脳波が観測されることを、ハンス・ベルガー博士が発見して以来¹、コンピュータの処理能力は、向上の一途を辿った。その結果、ブレイン・イメージング技術が発達し、脳波に限らず平行して、MRIやPET、MEG、光トポグラフィーなどの技術を選択して研究できる贅沢な環境が整備されるに至った。

これらの装置を用いて、何を調べるかは、研究者の研究対象による。しかし、少なくとも言語と脳の関係を知りたいと願い、そのために脳の研究を行おうと考える者は、以下の前提条件を暗黙の内に承認していることになる。

「言語は脳の機能の一部である。」

この前提は真実かどうかは分からない。しかし、脳を研究する者は、研究の過程を通して、この前提に対して無自覚に従ってしまう場合が多い。昔から心脳問題が、哲学者に限らず議論の対象になってきたが、心の状態を言葉で表現することによって、自らを知ることの不思議は、今も変わることはない。汝、自身を知れ、とはソクラテスの言葉だが、この格言には、言葉を通してでしか格言を達成できないという逆説が含まれているのである。要するに、汝、自身を知れ、という格言には、ソクラテスの脳活動が反映されているが、だからといって、ソクラテスの脳波を調べることで、格言が生まれる訳ではない。言うまでもなく、言葉は、自身で磨き上げるしかない。よって、この論文では、言語機能の全てを脳に還元するような現状の科学的態度からは、一歩引いて全体を俯瞰する立場をとる。しかし、少なくとも私が知りたいと願うのは、人が言語を使用する時の脳の状態が、時系列的に変化していく認知過程としてどのように現れるか、という点である。この点は、間違いなくここに明言できる。

¹ ドイツのH・ベルガー博士が初めて人の脳波を測定したのは、1920年代の後半である [3]。

1.2 研究の背景

本研究では、脳波 (Electroencephalogram; EEG) を用いて、人が文を読むときの脳活動を調べる。脳波には、文を読むときの読み手の脳活動が少なからず反映されていると考えられる。しかし、通常、そのままの波形は読み取ることができない。実験においては、数十回ほど繰り返して、文を読ませたり、聞かせたりするタスクを行う。脳波を読み取るためには、繰り返しタスクによって得られた波形の平均値をとる必要がある。これは、脳波を用いる研究では、必須の統計処理であり、加算平均と呼ばれる。脳波は、瞬きや体の動きのような自発的なアーチファクトも拾うため、このようなノイズ成分を極力抑えるための工夫が必要なのである。問題は、同じタスクを繰り返すわけであるから、例えば本質的に重要な脳活動であっても、1回限りの信号であれば、直接関係のないノイズ成分とみなされ消えてしまうことである。その代わり、アーチファクトを抑えるような実験を上手に行った上で加算平均処理をすれば、あるイベントに、ほぼ一対一に対応すると考えられるような脳活動の波形成分だけを取り出すことが可能である。この確からしいと考えられる波形成分は、事象関連電位 (Event-related potential; ERP) と呼ばれている。今後、断りがなければ、これを略して ERP と記す。

本研究の目的は、非常にシンプルである。文法規則に対する脳活動の反映と考えられる、ある ERP 波形を日本語の存在表現を用いて観測することである。もし、ある特定の ERP 波形が観測できれば、日本語の存在表現に対する言語現象を説明付けることができる。また、これは同時に日本語の存在表現を通して、まだ未知数の多い特定の ERP 成分の妥当性を検証することにもつながる。本研究の目的をより明確に理解するためには、言語の ERP の概念を理解することが重要である。そこで、次節では、言語に関連する ERP について簡単に説明する。

1.3 言語の事象関連電位

ERP は、言語現象に関連するものに限らず多く知られている。しかし、ここでは、言語に関連する ERP に絞って、特徴的に現れる波形成分を概観する。以下に示す波形成分が、言語の ERP である。

- N400
- P600/SPS(Syntactic Positive Shift)
- LAN(Left Anterior Negativity)
- ELAN(Early Left Anterior Negativity)
- LPC(Late Positive Component)

これから順に、それぞれの波形成分が従来どのような言語現象を反映すると考えられて来たか、その説明を与える。

ERP の成分を読む前に

ERP の波形成分を読むためには、以下の基本的なパラメータの意味を理解しておく必要がある。

潜時 イベントが発生してから反応が起こるまでの経過時間。

振幅 反応の大きさ。

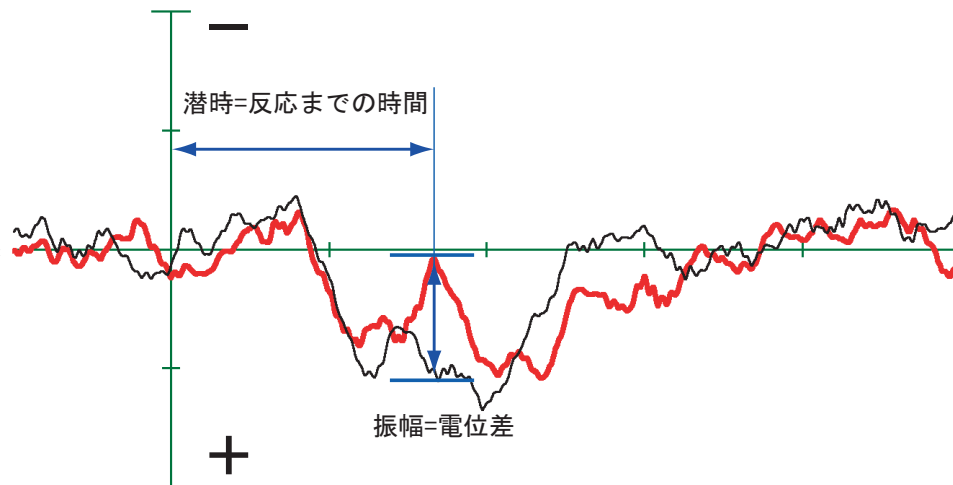


図 1.1: 潜時と振幅

潜時

潜時 (latency) は、あるイベントに関連して起こる反応が、どれくらい遅れて起こったか、経過時間を示す場合に必要である。反応が起こった潜時間帯には、脳の電氣的な活動を反映する決まった処理が生じていると考えられている。しかし、冷静に考えれば、脳は並列的に処理を行っていると考えられるため、反応が起こった時点を一点に集約して定義するのは一般的に難しい。そこで、脳波の場合は、大きな振幅のピークを持つ波形成分に注目して、とりあえず名前をつける習慣がある。この波形成分は、言語的な処理を同定するための重要な指標となっている。例えば、N400 と P600 といった ERP 成分は、ある言語刺激が提示されてから、それぞれ 400ms 後と 600ms 後に振幅のピークを生ずるような反応として知られている。このように、イベントに対する潜時を定義付けるためには、大きな振幅を持つ波形成分の山か谷のピーク位置を探す必要がある。名前がつけられた成分は、特定の言語処理を必ず決定しているという保証はないが、ある言語刺激に対して”関連のある処理”を行っていると考えすることは、不適當とはいえない。よって、一般的には、

既に先行研究によって同定されたERP成分が観測されたときには、ある特定の言語処理を反映する言語現象が起こったと推定することができる。全てのERP成分は、当然ながら、統計的に処理され、かつ有意となって、始めてその成分が同定される。

振幅

振幅 (amplitude) は、波形成分の大きさによって、対応する脳内で起こる処理の大きさを判断するための指標である。あるイベントに対する反応として、大きな振幅の成分が観測されれば、それを反映するだけの脳内処理が行われたと解釈する。振幅は、基準電極に対する電位差によって定義される相対値であり、数 μV スケールの大きさを持つ。極性には、陰性 (Negative) と陽性 (Positive) の違いがある。極性は、特定のERPに名前をつける際に重要な指標となり、陰性をN、陽性をPと書く。例えば、N400やP600と呼ばれている成分は、それぞれ極性が、陰性と陽性の振幅によって定義されたものである。一般的なグラフの極性表示と異なり、言語のERP波形については、陰性(-)を上、陽性(+)を下にする習慣がある。本論文の表記もこれに従うので、慣れない内はグラフの読み取りに注意する必要がある。

N400

N400は、意味が逸脱した単語を読むときに、200msから600msの潜時で、陰性の電位差を生じる。言語のERPとしては、はじめて[Kutas & Hillyard, 1980]によって、同定された成分である。最近では、言語に限らず、認知全般の逸脱現象に対してN400が報告されていることもあり、言語特有のERPとしての地位は落ちつつある。

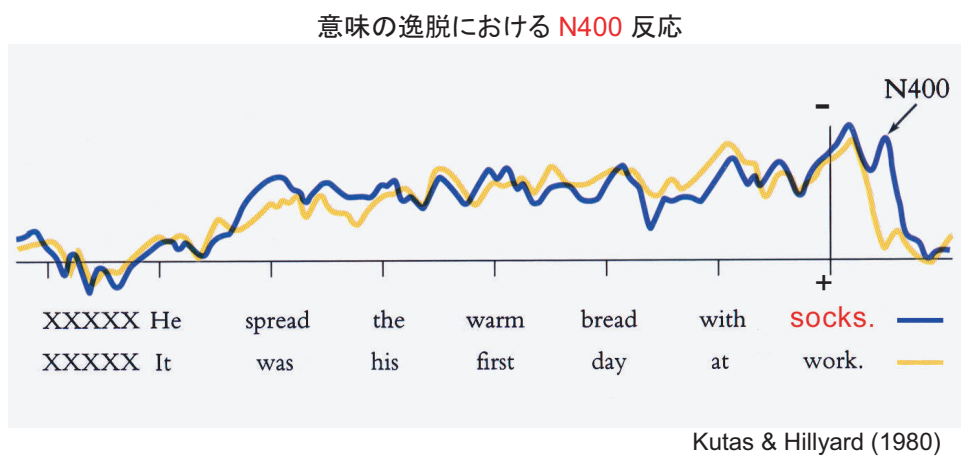


図 1.2: 言語のERP: N400

LPC

LPC は、400ms よりも遅い潜時で陽性の電位差を生じる成分として知られている。LPC は、不明な点も多い ERP 波形で、N400 成分が陽性に傾いた結果、遅い方の潜時帯で陽性成分が生じるという考え方もなされている。

P600/SPS

P600 は、外国語動詞の三人称単数形や性の一致違反、句構造違反で発生すると考えられている。500ms から 700ms の潜時で、陽性の電位差を生じる。後述する LAN に比べて、遅い方の統語処理を反映していると考えられる。例えば、文の再統合を行う場合のワーキングメモリーの負荷との関連も示唆されている。SPS は、P600 の別名である。研究者が先取権を争った結果、2つの名前が残った。

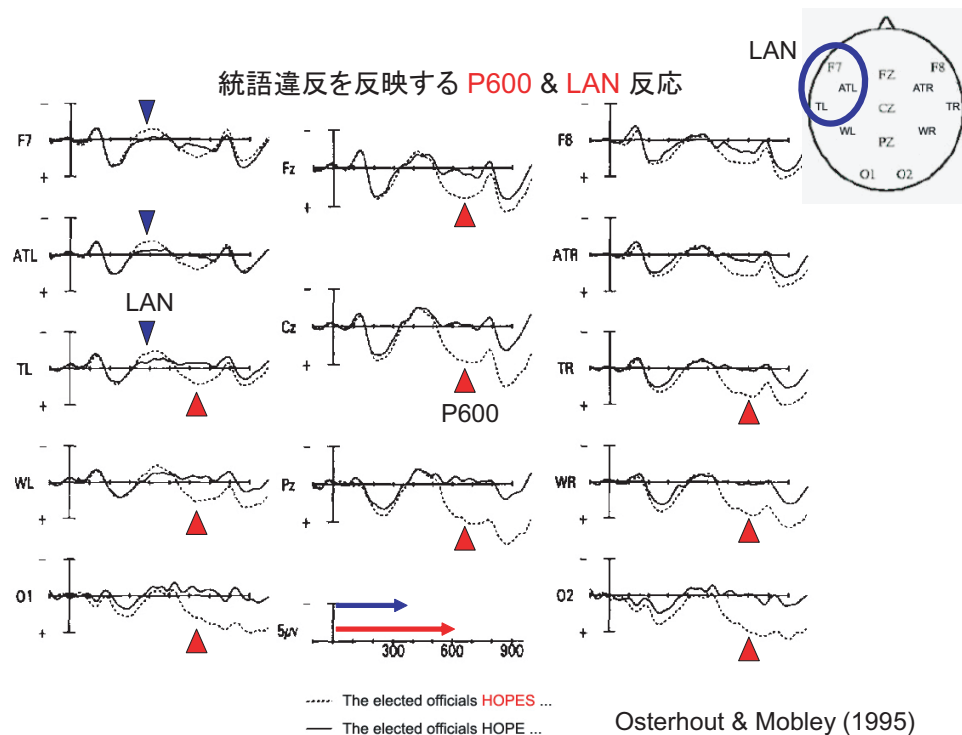


図 1.3: 言語の ERP: P600 & LAN

LAN/ELAN

Left Anterior Negativity (LAN) は、形式的な統語違反で発生すると考えられる新しい ERP 成分である。LAN と P600 は、統語に関連する反応として、同時に観測されること

がある。300ms から 500ms の潜時で、陰性の電位を左前頭部の電極に局限して生じることから、この名前が付けられた。潜時帯としては、N400 とクロスオーバーする。

LAN の反映する処理については、現在、2つの説が混在している。一つは、P600 に比べると、約半分の潜時帯で生じることから、自動的に文法の正しさを判断する処理、外国語でいう agreement や binding 処理に関連していると考えられている。別言すれば、早い潜時での統語的な語彙カテゴリの情報に基づく構文解析処理に関係があると考えられている。もう一つの考えは、文中に出てくる単語に統語的な役割を割り当てるまで、言語理解に必要となるワーキングメモリを保持するときの処理に関係しているという説がある。前者の説を唱えるのは、Friederici、Hahne、Mecklinger らであり、後者は、Kluender、Kutas、King らが提唱している。

Friederici によれば、LAN よりもさらに早く、150ms から 200ms の潜時で生じる Early Left Anterior Negativity (ELAN) という ERP 成分も報告されている。

なぜ、差の抽出が重要になるのか？

以上のように、波形を概観したが、重要なことは、言語の ERP は正文と誤文を比較していることである。つまり、全ての条件で正しいと考えられる文と間違っていると考えられる文の対比として、反応の差が抽出されているということである。実験では、反応差を抽出するために設定されるパラメータとして、正しい文を**コントロール**、間違っている文を**ターゲット**と呼んでいる。この実験上の比較を、コントロール vs ターゲット パラダイムと呼ぶとすると、差の抽出がなぜ重要になるのか考えなければならない。当然、コントロールに何を選ぶかによって、相対的に対立するターゲットとの差はダイナミックに変化すると考えられる。しかし、一回の実験で確かめることができるのは、ある特定の言語現象に対する、コントロールとターゲットの比較によって生じる電位差のみである。そこで、以下の図を見て考えて欲しい。

言語は、学問的に定義された不動の構造と、言葉を理解する時の生きた現象とを分けて考えることができる。両者は、何らかの対応があるに違いないが、それを確かめるために、コントロール vs ターゲット パラダイムによって地道に1つ1つ検証して行くことは、無駄な努力ではないと考えられる。しかし、方法論に問題がない訳ではない。言葉は生き物であるため、繰り返し類似した文を提示されると、実験参加者は正常な判断ができなくなる。これは、脳が即時性と頻度に敏感であると考えられる理由である。そこで、この問題点に対する解決案は、第5章で取り上げて説明する。

1.4 研究の目的と動機

ここで、ようやく本研究の目的を再び述べることができる。研究の目的は、統語に関連する ERP 成分である LAN を日本語の文で発見することである。言語には、文法規則があり、agreement や binding などの文法規則を反映する脳活動が、英語やその他の言語

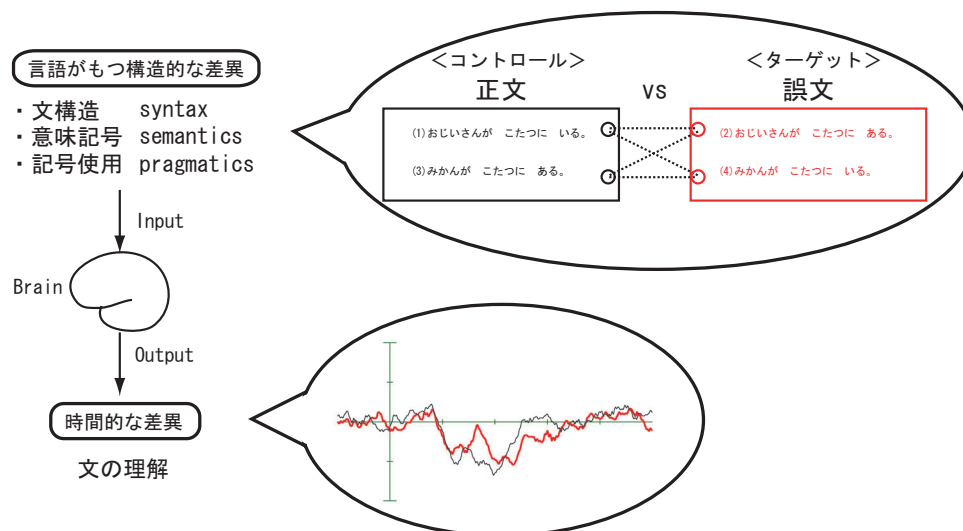


図 1.4: 差異の抽出の重要性

では、LAN として確認されているが、日本語にはまだ明確な証拠がない。日本語と英語は、水と油のように交わらないと言われ続け、日本人の英語学習者がなかなか上達しないことを常識と思い込んでいる、我々日本人の態度とどこかこれは無関係な問題ではない。LAN を出すことを試みた先行研究として、[Nakagome] があるが、P600 が観測されるにとどまり、成功には至っていない。日本語で LAN を発見することの意義は、多数の言語が存在する中で、日本語という相対的な言語にも言語機能の普遍性が存在するという証拠が、得られることである。しかし、逆に発見できない場合の意義にも答えるとすると、日本語には他の言語に存在するような一部の統語規則は存在せず、存在しなくとも言語は機能を果たしうる、ということを示唆することになるだろう。しかし、このように日本語を特殊な言語として考える立場もあるが、如何なる言語にも普遍的な共通の文法規則が存在するならば、同様の活動が何らかの言語現象として脳に反映されてしかるべきだと考える立場もある。本論文では、読者に混乱を生じさせないために、明示的に後者の立場に立つこととし、LAN を探求することをここに宣言する。LAN が、もし日本語のある言語現象の比較において発見されれば、外国語の言語システムと共通する普遍的な統語規則が明らかになり、日本語を捉え直すきっかけになることは間違いない。

1.5 本論文の構成

第1章では、研究の目的や背景について述べる。

第2章では、日本語の存在表現「ある」と「いる」を取り上げ、なぜ、研究の対象として存在表現を選んだかを説明する。

第3章では、実験の環境を説明する。

第4章では、実験のデザインについて説明する。

第5章では、存在表現の文法規則の強さを検証する実験を行い、LANが観測されなかった原因について考察する。

第6章では、存在表現の文法規則の強さを検証する実験を条件を変えて再度行った。具体的には、被験者にボタン押しをさせることで、実験に対する精密度を向上させることができた。その結果、存在表現の不一致によって、LANではなくN400とLPCを観測した。

第2章 日本語の存在表現

日本語において、LAN が観測された例は殆どない。しかし、最近では聴覚刺激を用いて LAN を観測したという報告がある (Müller et al., 2003[1])。同文献によって比較された刺激文例を以下に示す。

(1) a. (統制条件)

一羽の 鳩が 二匹の ねずみを 飛び越える 所です。

b. *(数詞違反)

一羽の 鳩が 二羽の ねずみを 飛び越える 所です。

c. *(ケースマーキング違反)

一羽の 鳩が 二匹の ねずみが 飛び越える 所です。

d. *(句構造違反)

一羽の 鳩が 二匹の 飛び越える 所です。

この例では、(1a) をコントロール文として、それぞれ (1b)、(1c)、(1d) に対して、4 文節目で比較を行っている。日本語を母国語とする被験者 19 人に実験を行った結果、(1b) では LAN のみが、(1c) では Anterior Negativity (AN) と P600 が、(1d) では Early Negativity と P600 が、それぞれ観測されたと報告している。同文献によれば、(1b) で LAN が観測された理由は、数詞カテゴリーの分類違反によるものとしており、(1c) と (1d) の例文と同様に P600 が観測されなかった理由としては、文理解において再統合を必要としなくても、数詞違反では、厳密な文の意味が損なわれないためだとしている。

同文献では、聴覚刺激において LAN を観測しているため、LAN がプロソディの影響を反映して優位に生じる ERP である可能性もある。しかし、本研究では、視覚刺激によって、LAN を生じさせるような日本語の文法規則を研究の対象とする。聴覚刺激は、予備実験から刺激の統制上、様々な困難を伴うことが分かったため、自分の力量の範囲外と認めて今回の方法論の選択からは除外した。

本研究では、数詞カテゴリーの分類違反によって、LAN が観測されたという同文献の結果を受けて、ある別のカテゴリーの分類違反によっても LAN が生じる可能性があると予想した。そこで、日本語の存在表現「ある」と「いる」に着目し、これを逸脱するような文を比較することによって、LAN が生じるような統語処理を観測することを目標とする。

2.1 「いる」と「ある」

本論文では、存在に関わる表現として「いる」と「ある」を取り上げる。「いる」は、一般的に人や動物、動くもの、要するに生物に対して用いられると考えられている。一方、「ある」は、植物や物、動かないもの、つまり無生物に対して用いられると考えられている。このような、分類の方法が問題なく行える場合、理解しやすいものであると了解できる。例えば、「いる」「ある」の使い分けの基準としては、次のようなものが考えられてきた[2]。

表 2.1: 「いる」と「ある」の使い分けの基準

	いる	ある
(i)	生物	無生物
(ii)	人・動物	植物・物
(iii)	動くもの	動かないもの
(iv)	時間が経てば移動して行く存在	時間が立ってもそこにある存在

しかし、(i) の原則を適用した場合、文献[2]によれば、例外がすぐに発見されてしまい、「いる」と「ある」をうまく説明することができなくなると指摘している。では、どのような例外があるのか、次の節で考えて見たい。一部は文献[2]によるものだが、本研究で独自に考案したものも含まれている。

「いる」でも「ある」でも可能なカテゴリ

乗り物

- (2) a. パトカーが 駐車場に いる。
b. パトカーが 駐車場に ある。
- (3) a. バスが 高速道路に いる。
b. バスが 高速道路に ある。
- (4) a. 救急車が 交差点に いる。
b. 救急車が 交差点に ある。
- (5) a. 飛行機が 上空に いる。
b. 飛行機が 上空に ある。

乗り物は、人が中に乗っている可能性を想定できるため、無生物でありながら、「いる」を用いることが可能であると考えられる。もし、「ある」が用いられた場合は、中に人が乗っていることを想定していないか、無生物として捉えていると考えることができる。いずれにせよ、「いる」と「ある」の両方を用いることが可能だと考えられる。

生死の境界にある存在

- (6) a. 痴呆者が ベッドに いる。
b. 痴呆者が ベッドに ある。
- (7) a. 脳死者が 病院に いる。
b. 脳死者が 病院に ある。
- (8) a. 死亡者が 現場に いる。
b. 死亡者が 現場に ある。
- (9) a. 死体が 安置所に いる。
b. 死体が 安置所に ある。
- (10) a. ミイラが ピラミッドに いる。
b. ミイラが ピラミッドに ある。
- (11) a. お骨が 仏壇に いる。
b. お骨が 仏壇に ある。
- (12) a. 幽霊が 墓場に いる。
b. 幽霊が 墓場に ある。

生きている者と死んでいる者を区別する場合に、時として、単純に「いる」と「ある」という表現に率直に現れることがある。例えば、痴呆者や脳死者は当然、人としての尊厳が尊重されるはずであるが、読み手が人として扱うことを拒絶すれば、その表現の仕方は、「ある」となるであろう。また、死亡者や死体には、人格があるだろうか。その死を第三人称的に他人の死として捉えるか、第二人称的に、つまり、親しい身内の死として捉えるかで、「いる」と「ある」の表現の仕方は変わってくると考えられる¹。その先のミイラやお骨までくれば、もう殆ど死体の原型を留めていないように思えるが、「いる」と「ある」どちらが、正しいと言えるのだろうか。最後の幽霊まで来れば、「いる」と「ある」の対立は、逆転して「いる」の方が自然になるから不思議なものである。

¹この問題を分かりやすく扱った書籍を挙げておく [5]。

その他

(13) a. 台風が 日本列島に いる。

b. 台風が 日本列島に ある。

(14) a. 大腸菌が おなかに いる。

b. 大腸菌が おなかに ある。

(15) a. 白血球が 体内に いる。

b. 白血球が 体内に ある。

このようなカテゴリの中間に位置するような名詞は、一般的に刺激文に用いることはできない。読み手の認知の仕方によって、「いる」でも「ある」でも可能になるからである。

なぜ、「ある」と「いる」にこだわるのか？

前節のような考察を進めていくうちに、「いる」と「ある」は、率直に言語学的に面白いトピックであることが分かった。そこで、LANを観測するという当初の目的に加え、「いる」と「ある」の言語学的な意義を踏まえて、本研究を通して新しい説明を与えることが可能だと考えられる。よって、「いる」と「ある」が、脳でどのような処理として現れるかを明らかにすることを本研究の第二の目的とする。これは、場当たりの目的の提案には間違いない。この点は、明確に認めざるを得ない。しかしい、だからといって、本研究の面白さが損なわれる理由には少しもならない。それどころか、LANというある特定のEPRを検出するという一般的に馴染みのない目的にこだわる一方で、そのような色気のない目的に華を添えることにもなるだろう。そこで、本研究のトピックが、言語学的に面白いということを擁護する理論を以下で2つ取り上げる。

- プロトタイプ理論
- 関連性理論

面白さを擁護する理論 (プロトタイプ理論)

認知意味論において、Roshによって考案された、プロトタイプ理論というものがある。あるカテゴリの境界は、個人の体験を通じて決定されるものであり、「いる」と「ある」を明確に線引きできる文法規則が存在するならば、理想的であるが、現実的には、前の節で紹介したように例外が多い。

面白さを擁護する理論（関連性理論）

特に、実験上、必要になると思われる考え方が、関連性理論 (principle of relevance) と呼ばれる原則に凝縮されている。

例えば、言語刺激を伝達する伝達者は、受け手にとって、もっとも関連性のあるように見えるように、刺激文を選ぶべきである。その理由は、そうすることで、伝達がもっとも成功しやすくなるからである。最適な関連性の見込みとは、受け手と伝達者のそれぞれの立場から以下の2つのように定義される。

1. 意図明示的な刺激は、受け手がそれを処理する労力に見合うだけの関連性がある。
2. 意図明示的な刺激は、伝達者の能力と優先事項に合致する最も関連性のあるものである。

第3章 実験の環境

3.1 実験のシステム構成

本研究では、脳波 (EEG) と脳磁図 (MEG¹; Magnetoencephalogram) を同時計測する。両者は、ともに時間分解能が高いために、言語現象を捉えるには適しているが、当然、多くの欠点もある。脳波は、簡便に計測できるが、脳内で行われる処理の部位を特定するには頼りない。MEG は、脳波に比べて、時空間分解能の点で、多くの磁場情報を得られるが、ダイポール推定²では、データの選び方や計算法によって、信頼できる結果を出すことは難しい。両者の解析方法には、当然、一長一短がある。仮に欠点のみに注目すれば、脳の解析手段における現状の限界を示す一例に過ぎないが、限界に対して意気消沈していても何も始まらない。そこで、本研究では、両者の同時計測を行うことで、それぞれが測定困難な脳からの情報を併合して分析することで、より多面的に言語現象の理解に迫る意欲的な試みに挑戦した。特に、言語処理の部位推定よりも、時間的な変化を捉えることを主眼に置く。よって、脳波解析をメインに、MEG 解析を補助的に行った。ダイポール推定は行っていない。

実験を行う環境は、以下の (図 3.1) に示すような MEG 装置および脳波計から得られる脳磁場・脳波データを直接モニタし、解析できるようなシステムによって行う。



図 3.1: 実験システム

¹今後断りがなければ、脳磁図の代わりに MEG を用いる。

²逆問題を解いて、信号源の部位を推定する手法。

3.2 脳波計 (EEG)

脳波電極の配置は、国際 10-20 電極法に準拠した。今回の実験の計測では、実験機材の制約により、8 チャンネルまでの電極を使用した。選択したのは、(図 3.2) の赤で示された部位、F7、F3、C3、P3、F8、F4、C4、P4である。実験では、前頭の左右差を比較できることが望ましいので、左右対称の配置によって定義した。この配置は、本研究の解析時にも重要な役割を果たす。

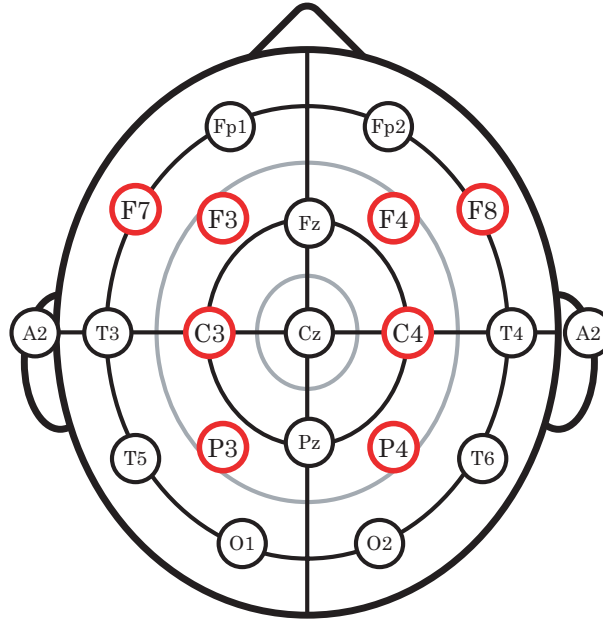


図 3.2: 国際 10-20 電極法配置

データ収集の際のスペックは、以下のとおりである。

表 3.1: データ収集

電極数	8ch
オンラインフィルタ	0.5-300Hz
サンプリング周波数	1kHz
リファレンス	両耳連結
グランド	Fpz ^a
インピーダンス	5k Ω

^aFpz は、Fp1 と Fp2 の中間の位置である。

実験で用いた脳波計は、皿電極タイプのものである。取り付けの方法は、麺棒で頭髮

をかき分け、頭皮をアルコールで拭いた後に、脳波電極用のペーストを塗るという手順で行った。電極位置の確認は、国際 10-20 電極法の配置に従い、手で大まかな位置を決めている。メジャーで計測位置を丁寧に確認することは行っていない。取り付け終了後には、電極が外れていないかモニターで波形を直接確認した。

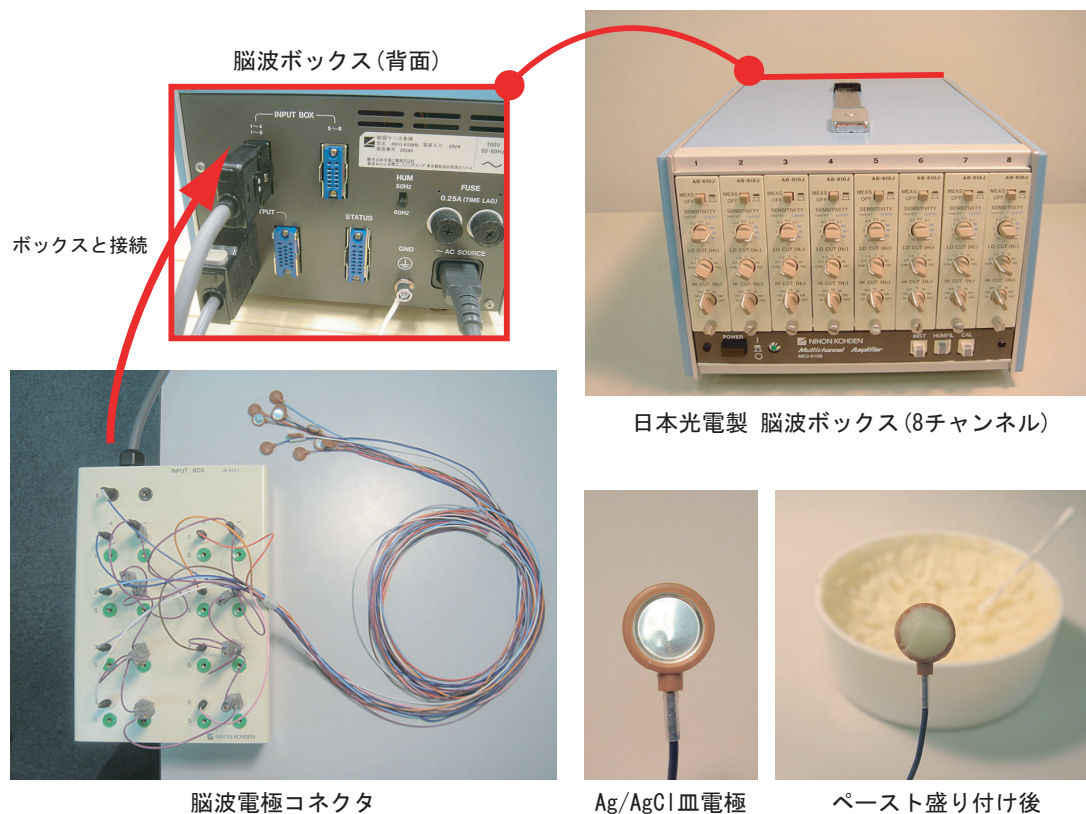


図 3.3: 使用した脳波電極装置



図 3.4: 電極装着時の被験者

電極装着後の被験者の様子は、(図 3.4) に示してある。

3.3 脳磁計 (MEG)

脳磁場を測定するためには、必ず3つのものが必要である。

- 磁場計測センサ
- シールドルーム
- 解析装置

磁場計測センサ

磁気計測センサには、液体ヘリウムによって冷やされた SQUID ³ (超伝導量子干渉素子) を利用している。コイルの形状により、グラジオメータとマグネトメータの2種類の磁気計測センサがある。本研究で用いるシステムには、両方のセンサを兼ね備えているが、本研究の解析に用いたのは、グラジオメータのみである。システムのスペックは、以下のとおりである。

表 3.2: システムスペック

グラジオメータ	157ch
マグネトメータ	160ch
リファレンス	4ch
合計	320ch

* 仰臥位タイプ

本研究では、SQUID や磁気センサの詳しい原理に全て触れることはできない。それぞれのセンサーの長所と短所に絞って説明する。

マグネトメータは、脳の深部までシグナルを計測できる利点がある。しかし、磁気シールドルーム内でも車の往来などの環境ノイズの影響を直接的に受けやすい。よって、解析時に用いるには扱いにくい側面を持っている。

³磁気計測センサは、液体ヘリウムによって冷やし続けなければ、使用できず、維持経費が莫大にかかる。補給サイクルは、本システムで 100l/週である。

一方、グラジオメータは、磁気シールドルームの中では、環境ノイズの影響を受けにくいものの、脳の深部までは計測できない。計測できるのは、大脳皮質内の錐体細胞のシナプス後電位によって生じる、水平成分の電気活動に限定されると考えられている。頭皮上に対して水平成分の電流は、MEG では、垂直成分の磁場分布として観測される⁴。しかし、垂直成分の電流は、水平成分の磁場分布となるため、グラジオメータでは殆ど計測できない。これは、脳の部位でいうと脳回に相当する。

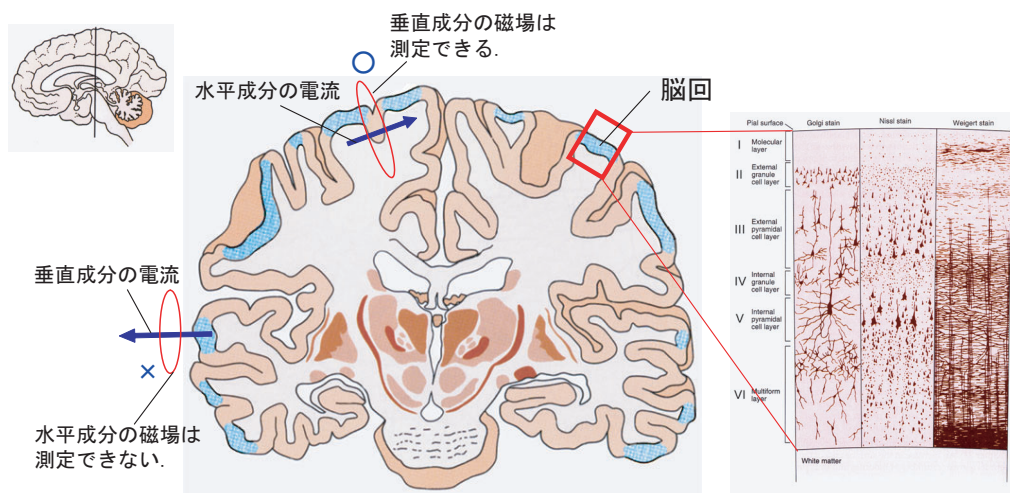


図 3.5: 頭皮に対して水平成分の磁場が測定困難であることを示す図

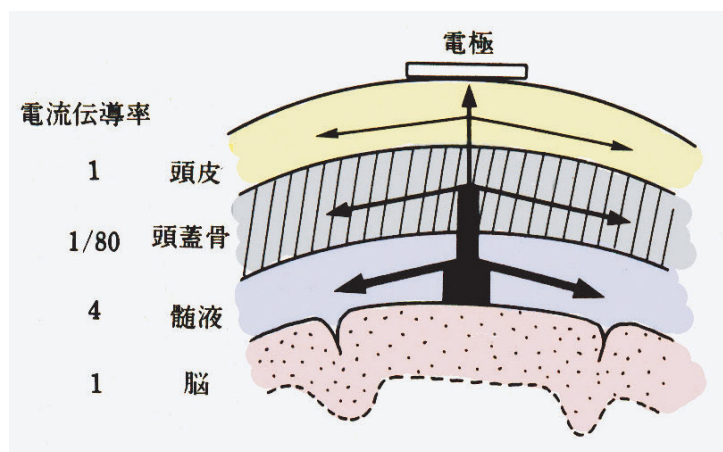


図 3.6: 電流伝導率と電流の広がり方を示す模式図 [3]

脳波はこれに対し、電流の伝導率が、脳の組織によってかなり異なっている。皮質での電流伝導率を1とすると、頭皮に届くまでに周囲に広がり、かなり減衰することが分か

⁴電流と磁場は直交し、各方向は右手の法則によって決まる。

る(図 3.6)。また、必ずしも電極で観測される直下に信号源があるわけではない。脳波と MEG は、解剖学的な知見を考慮した上で、脳の信号解析を行うことが重要になる⁵。

磁気シールドルーム



図 3.7: 磁気シールドルーム

シールドルームは、脳から発生する微弱な磁場を捉えるために、外界の環境ノイズを遮断する。

測定システム

取得したデータを高速に計算するための解析装置が必要である。本研究では、言語刺激を一単語ずつ、視覚提示によって行っている。具体的には、シールドルームの外からプロ

⁵ダイポールの推定を行えば、脳のどの部位から発生した信号かを特定することも可能である。しかし、逆問題による解の不定性や、部位推定のための MRI 画像撮影を被験者に行っていないため、ダイポール推定を用いて部位推定することを今回は見送った。なお、正確な推定をするためには、解剖学的な裏づけが必要であることは言うまでもない。

ジェクターを通して、内側で仰向けになって寝ている被験者の目の前、約 30cm に投影している。被験者の姿勢は、仰向けの状態であるために単調な刺激を提示し続けていると、すぐに眠くなってしまう。よって、このような刺激に対して集中ができなくなる状況を予め回避したい。そのために、本研究では、実験の試行セットが終わる度に、外からシールドルーム内にいる被験者に対してマイクを使って声をかけてあげたり、休憩の時間に音楽をかけたりするように工夫を行っている。聴覚の刺激による実験は、今回行わないが、被験者にはエアーチューブ・イヤホンを着用してもらっている。

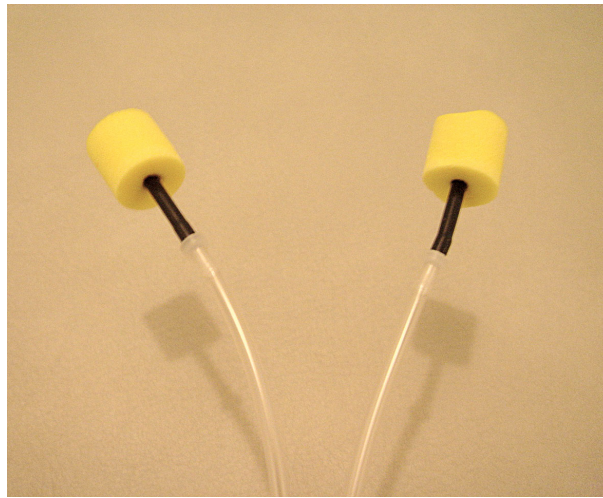


図 3.8: エアーチューブ・イヤホン

なお、本研究は、脳波と MEG の同時計測を行っているが、被験者が装着している脳波電極が、MEG の解析データに影響を与えていないことを事前に確認してある。



図 3.9: 実験中の被験者の状況



図 3.10: 実験におけるモニタの状態

第4章 実験のデザイン

4.1 刺激文の作り方

刺激文は、「いる」と「ある」の2つの存在詞に対し、文法的に正しい文と間違っている文を用意した。全ての文は、以下のように3単語から構成される簡単な文である。

(16) a. ○○○○が ○○○に いる。

b. ○○○○が ○○○に ある。

(16a)の文では、主語に動的な存在を表す名詞が入る場合は正しいが、静的な存在を表す名詞が入ると誤りである。逆に、(16b)の文では、主語に静的な存在を表す名詞が入る場合は正しいが、動的な存在を表す名詞が入ると誤りとなる。以上のように、各文にはそれぞれ正文と誤文があるので、全部の組み合わせを考えると $2 \times 2 = 4$ つの刺激文の条件が存在することになる。

使用した刺激文の名詞は、実験参加者が読みやすいように、モーラ数¹を全て4(1文節目)と3(2文節目)に統制してある。NTTのデータベース「日本語の語彙特性」を参照し、7段階評価の単語新密度(数字が大きいほど親密度が高い)の内で6.0-7.0の単語のみ使用して、刺激文を作成した。

実験で比較する刺激文を、以下の表にまとめておく。

表 4.1: 実験で比較する刺激文

正誤	刺激文	名詞 + 存在表現	刺激数	割合 (%)
○	1. 男性が サウナに いる。	動的な名詞 + 「いる」	60	25
×	2. 男性が サウナに ある。	動的な名詞 + 「ある」	60	25
○	3. 伝票が 机に ある。	静的な名詞 + 「ある」	60	25
×	4. 伝票が 机に いる。	静的な名詞 + 「いる」	60	25

計 240 計 100

¹単語の文字数のことである。

4.2 刺激文の提示手順

刺激の提示には、刺激提示用ソフトの Presentation を使用した。

各試行は、基本的には 1 単語毎に 1000ms 間隔で提示されるが、予備実験の結果からある工夫を施してある。詳しい提示方法については、後述する。

画面の中心には、実験参加者が瞬きをできるだけしないように十字の注視点が用意してある。参加者は、注視点を見ながら文を読むように指示されている。1 単語と 1 単語との間隔 (ISI, Inter Stimulus Interval) は、空けないように連続提示した。

今回の実験では、ボタン押しありとなしの 2 通りのタスクを試した。1 回目の実験は、文章を受動的に見続けるだけである。2 回目に行った実験は、一回目の欠点を補うために、刺激文が終わる毎に能動的に正誤判断を行った。

参加者の集中力が持続できるように、20 試行毎に 20 秒間の休憩をとった。休憩時間には、リラックスできる音楽が流れる。さらに、全 240 試行の半分まで来たら、2 分 30 秒の中間休憩をとった。ボタン押しは行っていないため、参加者の正答率や反応時間 (RT, Reaction Time) は測定できない。

4.3 提示するときの注意点

人は一般的に、頻度と即時性に敏感であると考えられている。

- 頻度
- 即時性

頻度の少ない刺激や目新しい刺激に対して、人は即時的に反応する。これは、人に限らず、外界の状況に適応するために、生物が持っている基本的な性質と考えられる。

同じ刺激を繰り返して見ていれば、当然、慣れや学習の効果が生じてくると考えられる。例えば、100 回の加算平均を行ったとして、前半の 50 回と後半の 50 回を比較すると明らかに、振幅は異なっていると考えられる。刺激に対する反応が良いのは、慣れの影響が出るまでの僅かな時間以内であるという予想も立つ。

また、疲労によって集中力が持続しない場合がよくあると考えられる。刺激提示の時間は、せいぜい 1 時間ほどであっても、脳波電極の取り付け取り外しを含めると、全体の実験時間は 2 時間に及ぶ。実験という制約条件の下で、どれだけ現実に近い状況の、言語現象に迫れるかということが課題になってくる。よって、どのように頻度と即時性をコントロールするかという点を考えることは、実験上、重要な要素となる。

4.3.1 プライミング効果

前の刺激が、次に提示される刺激の判断を抑制したり、促進したりさせることは、実験上明らかになっている。これは、プライミング効果という現象である。

下らない例であるが、小学生なら誰でもやる言葉遊びがある。通称「10回クイズ」と呼ばれるこの遊びは、同じ単語を復唱することで、冷静な状況では、決して間違えないような間違いを誘導するところに、面白さがある。様々なパターンがあるが、以下に2つほど引用しておく。

<例 1>

- A 「鹿と 10 回言って。」
- B 「鹿、鹿、鹿、鹿、鹿、鹿、鹿、鹿、鹿、鹿！」
- A 「サンタクロースが乗る乗り物は？」
- B 「トナカイ。」
- A 「そり。」(答え)

<例 2>

- A 「小さい秋と 10 回言って。」
- B 「小さい秋、小さい秋、... 小さい秋、小さい秋！」
- A 「”小さい秋見つけた”を歌って。」
- B 「ちいさいあーき、ちいさいあーき ...」
- A 「だーれかさんがー、だーれかさんがー ...」(答え)

このように反復提示する言語実験の場合は、できるだけこのような誤った判断を起こさないようにコントロールするべきである。誤判断を引き起こすような、プライミング効果を負のプライミングと本研究では定義する。例えば、実験参加者が、実験の主旨を理解して、文を読むときにある統語的なルールに従って読もうと努力したとする。しかし、どれだけ負のプライミングに逆らって、集中力を保持しようとしても、その努力の保証は全くないと考えられる。よって、事前にどのような場合に、負のプライミングが起り得るかを予想しておかなくてはならない。

もし、刺激の統制がうまくできない場合は、加算平均処理をおこなっても、反応差が出ないと考えられる。

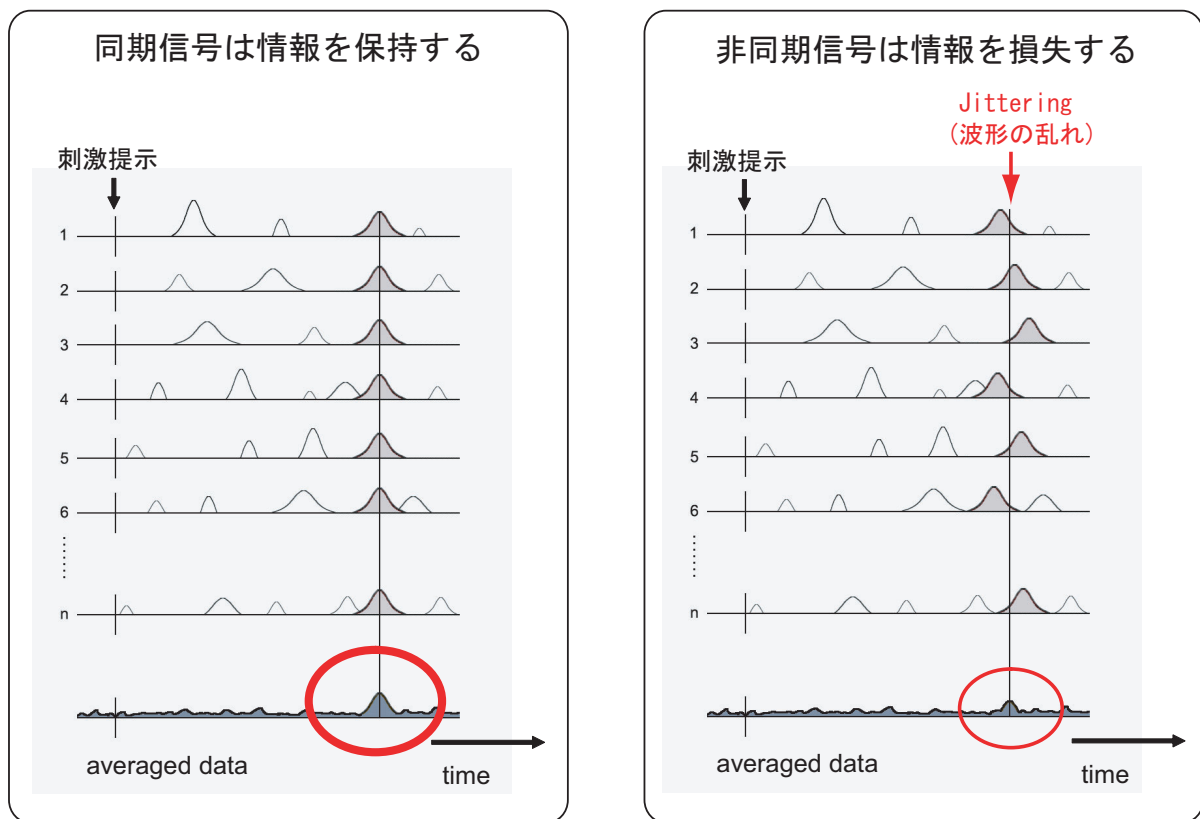


図 4.1: 加算平均を行う上での注意点

第5章 存在表現における統語処理の強さを検証する実験(ボタン押しなし)

5.1 方法

5.1.1 実験参加者

実験には、年齢が22歳から25歳まで (Mean=23.80, SD=1.10) の日本語を母国語とする健常な大学院男性5名が参加した。実験後のアンケートの結果、参加者の主観的な判断によると、利き手は全員右手であった。参加者には実験後に謝礼金が支払われた。

5.1.2 タスク

参加者には、「ある」と「いる」における文法的な正しさの判断を行なって読むように、実験前に指示した。また、LANは、文献によっては、聴覚的なプロソディの影響を反映していると考えられているため、今回は、文字を心の中で声を出すようにして、黙読するように指示した。文の提示後には、正誤判断をさせる質問をランダム(全試行の5%ほど)に提示した。その場合、被験者には○か×かを声に出して答えてもらった。ボタン押しによって、自発的に判断をしてもらった訳ではない。

文を読む場合には、音読と黙読の2種類の読み方があるが、さらに黙読には以下のように2通りの段階があると考えられる。

- 心の中で自分の声をイメージしながら文字を読む。
- 文字を視覚的に意味の塊として捉えて読む。

前者は、視覚情報を一旦、聴覚情報に変換する分だけ遅いが意味を正確に理解できると考えられる。後者は、視覚情報から直接意味を理解するために、速いが推論を多用するために、不正確である場合があると考えられる。

5.1.3 提示の工夫

今回、予備実験の結果から予想して、以下の二点について、工夫を施した。

1. 意味内容の提示
2. 二文節の連結提示

文を適切に読むには、集中しすぎてもよい影響はないが、集中力を欠いていれば、実験の意味がなくなる。その中間の集中度を実験参加者が維持してくれることが、求められるが、その統制は、実質困難を極める。今回の工夫は、少しでも最良の条件で、参加者が実験に集中できるようにするために提案した。

1. 「意味内容の提示」は、各刺激文を提示する前に、被験者が混乱しないための配慮である。
2. 「二文節の連結提示」は、被験者に自由な読み方をさせないため(推論の防止)である。具体的には、「サウナに いる。」のように二文節を連結して提示を行なった。より詳しい説明は、後述する。

意味内容の提示

連続して刺激文を提示していると被験者は、判断を誤って読む可能性がある。そこで、「意味内容」を提示する 1000ms の間には、被験者が単語の意味を確実に理解できるように、プライミング刺激として、例えば、次のようなヒントを先行提示した。

＜意味＞ 男性が サウナに 存在する。

これによって、初めて読む文章でも、存在詞「ある」と「いる」の正誤のみに注意を向けて文章を読むことが出来るようになると考えられる。このプライム刺激の役割は、被験者に「ある」と「いる」を混乱しないように、“適切に”読んでもらうことである。このプライム刺激がなければ、負のプライミングが生じてしまうと考えられる。なぜなら、完全に刺激をランダムに提示すると、連続して刺激が提示される場合など偏った試行ができてしまい、読み手の判断が成功しない可能性が高くなると考えられるからである。

刺激の提示は、4 種の正誤文 (1.～4.) が乱塊法でランダム提示されている。この場合、正文、もしくは誤文を読んだ次の刺激に対して、同じ読みを期待するような判断やもしくは

は、逆の読みを期待するような判断を実験の目的とは無関係に起こすと考えられる。この場合、2通りの好ましくない状況が発生する可能性がある。

1. 正文を誤文のように判断して読む。
2. 誤文を正文のように判断して読む。

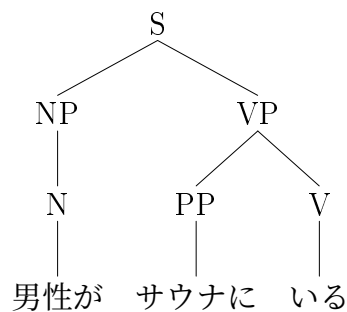
このような混乱は、刺激文をランダムに提示している以上、例えばボタン押しで、被験者の注意を統制したとしても、必ず生じてしまうような、強力なものだと予想できる。

そこで、毎回、変化しない基準点として「意味内容」を提示しておけば、少なくとも、前の刺激に引きづられたまま混乱しないで、「いる」と「ある」の正しい判断を行うことが可能になると考えられる。

しかし、「存在する。」という動詞は、文章として違和感がある。残念ながら、この実験では、「ある」と「いる」以外の動詞で、中立的な意味を完結した文で提示させるには、「存在する。」という単語しか見つからなかった。

二文節連結提示

二文節連結提示の理論的説明をする。「男性が サウナに いる。」の文章を木構造で考えてみると、次のようになる。



しかし、被験者の文の読み方は、必ずしも構文木のように読まない可能性があることを予備実験の経験を通して分かった。例えば、構文木で予想される読み方を、括弧 () を用いて以下のように定義する。つまり、「男性が」の次に「サウナに」と来れば、「いる」が提示されるまで、「男性が」と「サウナに」の単語を保持したまま、文を統合する処理を待つような読み方である。

[1]

((男性が) ((サウナに)(いる)))

しかし、被験者の自由を優先させると、以下のような読み方をする場合も考えられる。これは、「男性が」の次に「サウナに」と来れば、「いる」が提示されるのを待たずに、「男性が」と「サウナに」の文を統合して「いる」を待つような読み方である。

[2]

(((男性が)(サウナに)) (いる))

しかし、予備実験の口頭調査で、被験者が、[2]のような読み方をしている可能性が高いことが分かった。正確に述べれば、長時間、同じような「いる」「ある」の文章を読み続けていると、[1]のような正しい読み方では読めなくなり、[2]の読み方になると考えられる。その原因として、文節を区切って時系列に提示するという実験上の制約が、被験者の集中力を持続させないという可能性が挙げられる。

さらに、もし[2]のような読み方になってしまった場合、「いる」の部分は、実際には読まれていないと考えられる。つまり、実際の構造としては、[2]は、[2']のようになっているだろう。

[2']

(((男性が)(サウナに)) ([- 省略 -]))

この場合、読み手は、「男性」と「サウナ」という単語が提示された時点で二文節の統合を行い、次に提示される「いる」もしくは「ある」という単語を「存在する」という意味の概念に置き換えて、文の統合を完了してしまっている可能性がある。この場合、意味は完結してしまっているため、最後に提示される単語が「いる」であろうと「ある」であろうと、どちらでも構わないことになる。

この「省略」現象が起こる時には、被験者が単語の「置き換え」を同時に行っていたり、あるいは、全く読んでいないと考えられる。その原因は、単純に被験者の集中力が完全に切れてしまっているためである。つまり、省略が起こるということは、被験者に自由な推論の余地を与えていることになる。

そこで、これを実験上、統制しようと考えて提案したのが、今回の二文節を結合する提示方法である。

[提案の提示法]

(((男性が) ([サウナに いる])))

男性が サウナに いる。

5.2 結果

比較を行なったのは、以下の4種の刺激文である。

- (1) ○ 男性が サウナに いる。(動的な名詞 (DN) + 「いる」)
- (2) × 男性が サウナに ある。(動的な名詞 (DN) + 「ある」)
- (3) ○ 伝票が 机に ある。(静的な名詞 (SN) + 「ある」)
- (4) × 伝票が 机に いる。(静的な名詞 (SN) + 「いる」)

正文と誤文の2対で比較を行なうと、正文 (2)*誤文 (2)=4 通り の組み合わせが考えられる。動的な名詞を DN(Dynamic Noun)、静的な名詞を SN(Static Noun) と名づけると、以下のように4つの象限に分けて比較することが可能である。

表 5.1: 4条件の比較方法

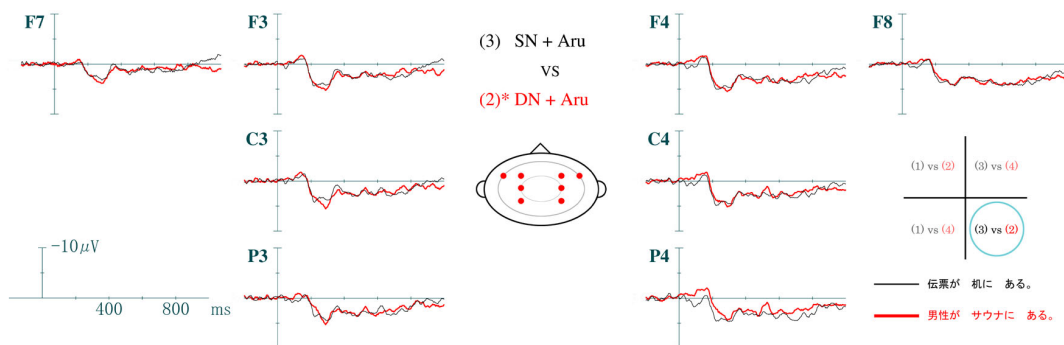
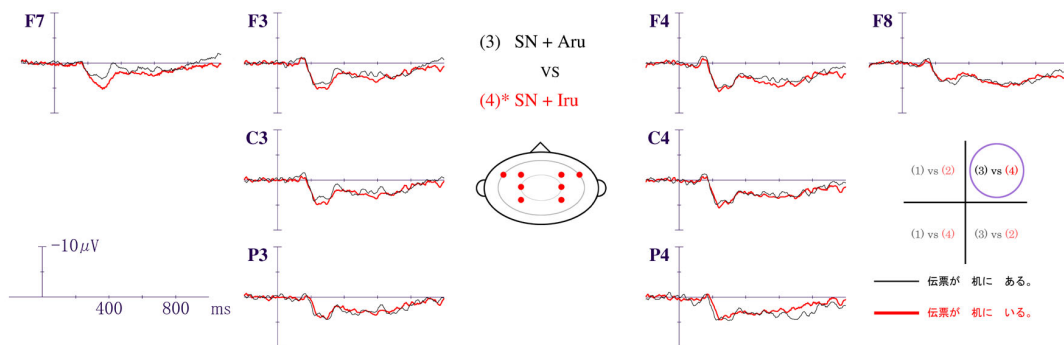
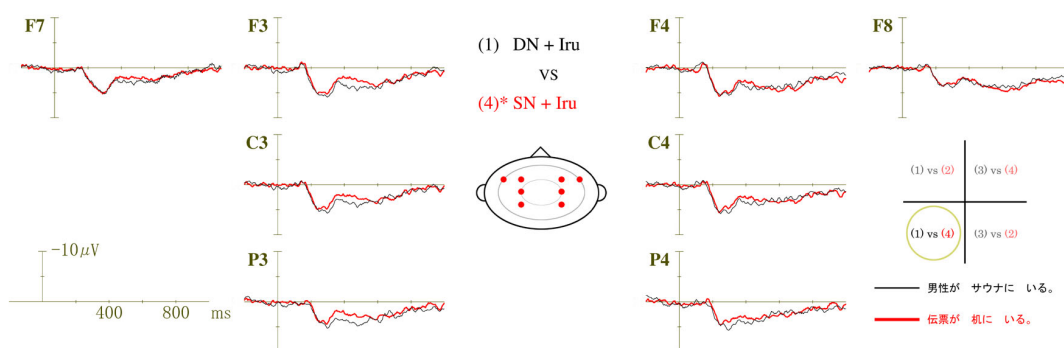
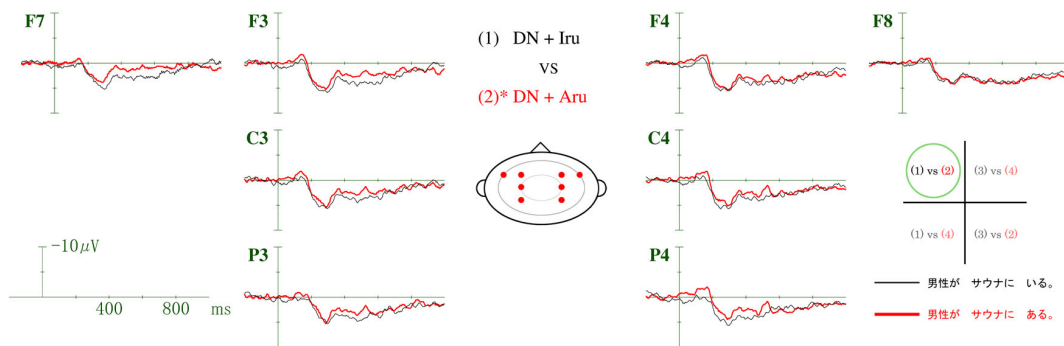
<第一文節固定>					
(1)	DN	+	"iru"	(3)	SN + "aru"
		vs			vs
(2)	DN	+	"aru"	(4)	SN + "iru"
(1)	DN	+	"iru"	(3)	SN + "aru"
		vs			vs
(4)	SN	+	"iru"	(2)	DN + "aru"
<第三文節固定>					

左上と右上の象限では、名詞を固定して、第3文節の「いる」と「ある」を比較している。「いる」と「ある」の文法を比較する場合は、この2つである。

また一方、左下と右下の象限に示されている比較の方法もある。これは、第1文節の名詞カテゴリーの違いを第3文節の「いる」「ある」を固定した上で、比較を行う。この比較象限の図は、以後も用いる。

次に、加算平均を行った脳波のERP波形を吟味する。

5.2.1 加算平均波形 (N=5)

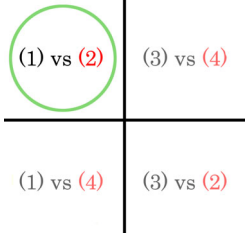


5.3 統計処理

ANOVA の検定対象は、LAN に注目して、Grand average(N=5) の波形において差がありそうな条件のみに絞った。よって、網羅的に全体の解析を行うようなことはせずに、興味ある対象についてのみ検討した。そこで、実際に比較を行った条件は、以下の2組である。また、解析を行う時間区間は、300-400ms と 400-500ms とした。

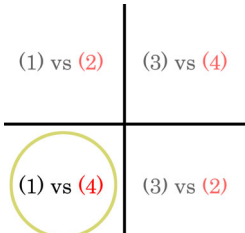
- (1) DN+Iru vs (2)* DN+Aru
- (1) DN+Iru vs (4)* SN+Iru

表 5.2: Summary of repeated-measures ANOVA (実験1); 条件 (1 vs 2)

		300-400 ms	400-500 ms	
条件	$F(1, 4)$	7.067	30.231**	
エリア	$F(3, 12)$	.390	1.758	
条件 × エリア	$F(3, 12)$	1.022	1.597	

* $p < .05$, ** $p < .01$.

表 5.3: Summary of repeated-measures ANOVA (実験1); 条件 (1 vs 4)

		300-400 ms	400-500 ms	
条件	$F(1, 4)$	1.960	6.705	
エリア	$F(3, 12)$	.190	.567	
条件 × エリア	$F(3, 12)$	.854	2.232	

* $p < .05$, ** $p < .01$.

300ms-400ms区間の振幅の平均値

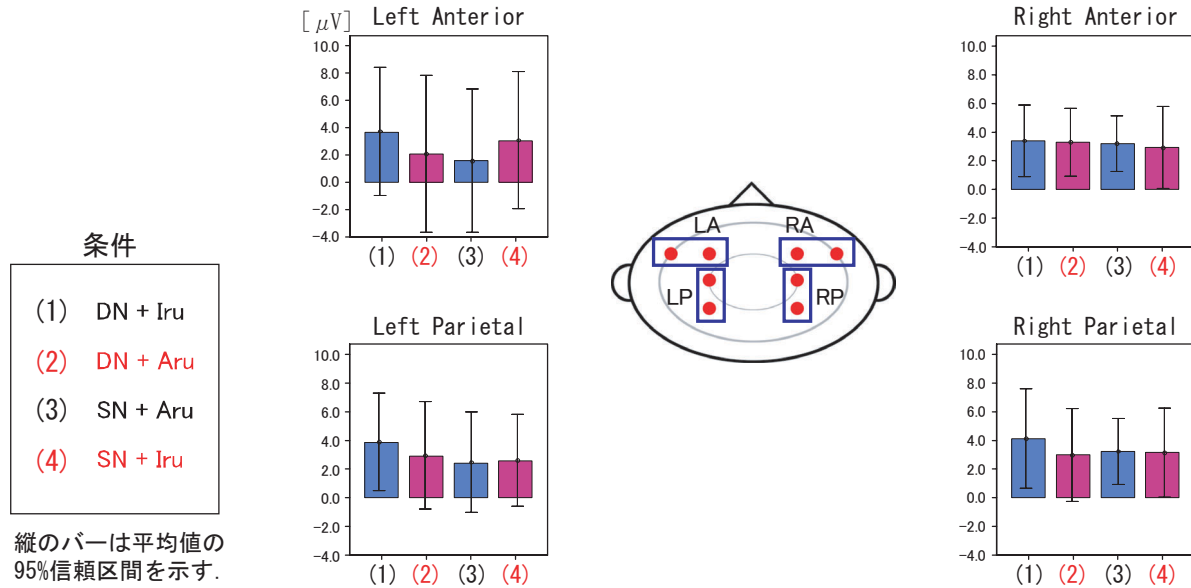


図 5.1: 実験 (ボタン押しなし) の 4 条件の平均値の比較; 300ms-400ms 区間

400ms-500ms区間の振幅の平均値

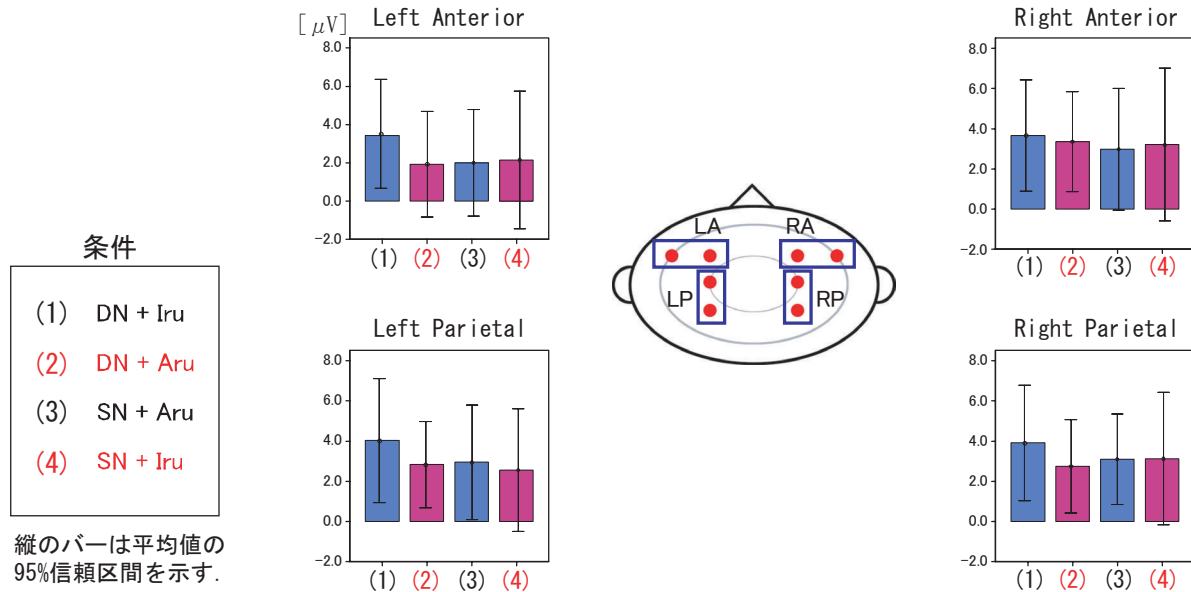


図 5.2: 実験 (ボタン押しなし) の 4 条件の平均値の比較; 400ms-500ms 区間

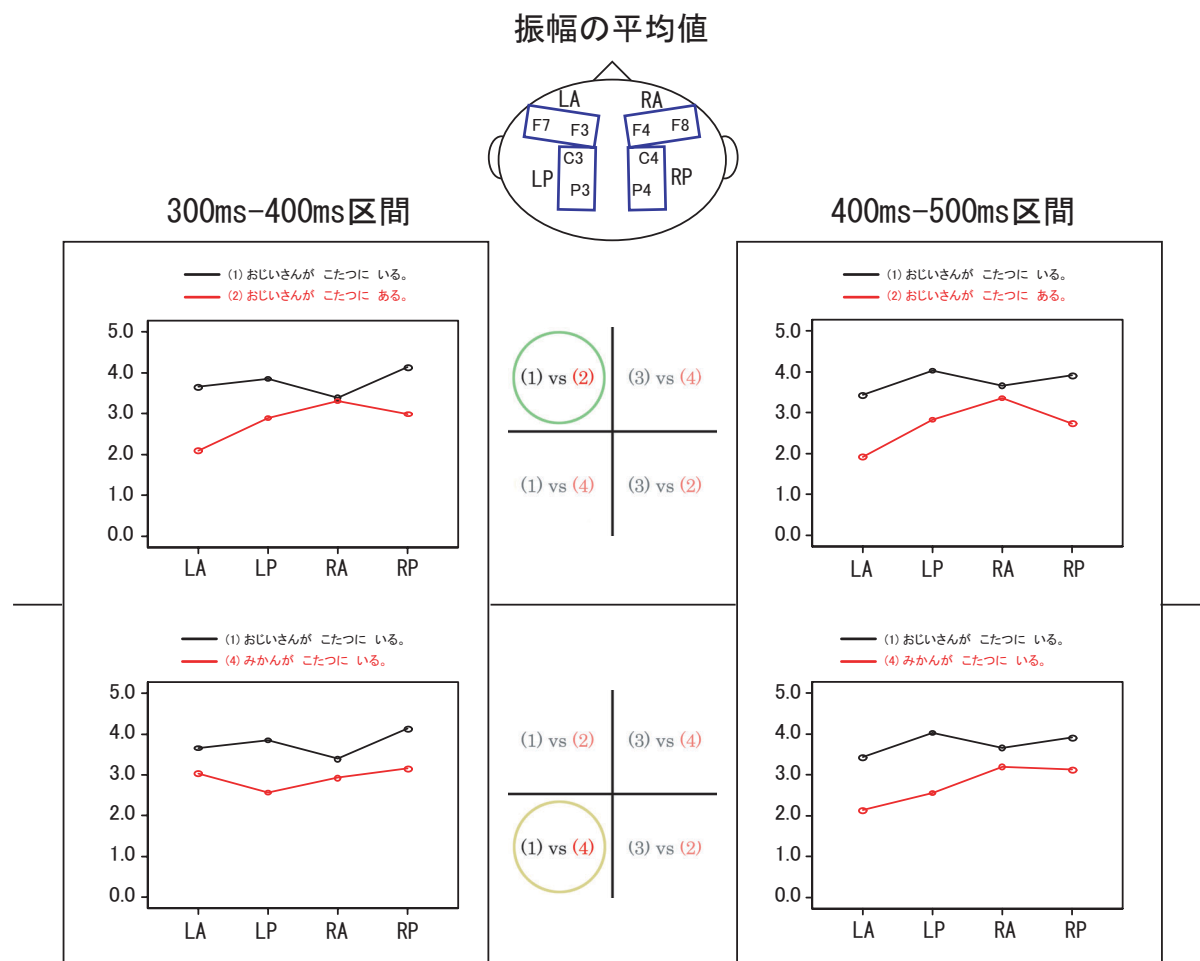


図 5.3: 実験(ボタン押しなし)の電極の平均値の比較; (左):300ms-400ms 区間, (右):400ms-500ms 区間

5.4 考察

提案

- 被験者に「ボタン押し」の正誤判断をさせないで、注意を文章に向けようとするのは、基本的に一番難しい実験である。この実験パラダイムは、もともと集中力が持続しないという被験者の前提を無視している。まず、提示時間や表示する語の色々なパラメータをいじる前に、被験者が読んでいるという客観的な証拠を残すべきである。そうしない限りは、誰もこの実験を信用しない。被験者に「ボタン押し」をさせるべき。

- 新しい、余計なアイデアを追加すれば、追加するほど、その影響が入った結果考えられるので、今までで知られている、標準のパラダイムを採用すべき。だから、「意味内容の提示」や、「二文節の連結提示」などの工夫は行なわない方がいい。例えば、二文節の連結提示によって、「いる」「ある」を読む時の反応潜時が遅れている可能性がある。
- フィラーを倍に（つまり、現在の刺激240に対し、新たに240のフィラーを）付加することにより、「いる」と「ある」を読むときに生じる混乱（誤読）は防げる可能性はある。フィラーには、例えば「いる」「ある」の代わりに「走る」「歩く」などの動詞を入れたセットを考える。
- 「いる」と「ある」の場合は、「***が ***にある。」という語順よりも、「***に ***がある。」の語順の方が、自然だと言う考え方もある。例えば、「いる」「ある」は英語に直すと、"There is ..." 構文になる。つまり、スクランブル語順のほうが、「いる」と「ある」は、本質的に自然である可能性がある。

(ボタン押しについて)

確かに、被験者に「ボタン押し」をさせるのは、合理的である。従来、MEG装置ではノイズとなる金属を中に持ち込めないため、金属製のボタンでのボタン押しが不可能である。しかし、シールドルーム内に金属製のボタン装置を入れてテストしてみたところ、ボタンを押していない通常の状態ではノイズが殆ど発生しなかった。その代りボタンを押すタイミングでは、大きな磁場ノイズが発生した。ONの状態の時は、ボタン装置の回路に電流が流れるためである。MEGの解析は、「ある」「いる」のトリガーが出た直後で行なうので、ボタンを押さない限り、全くノイズの影響を受けないと考えられる。そこで、次の実験では、被験者に毎回「ボタン押し」による正誤判断を行なう。

(フィラーの導入について)

確かに、フィラーを入れると単調に「いる」「ある」を読むだけではなくなるので、負のプライミング効果を受ける確率が減少すると考えられる。しかし、沢山読ませるということは、それだけ被験者に集中してもらわなくてはならず、当然、実験時間も倍かかる。また、統制がとれた刺激文のセットをさらに倍考えるのも困難である。よって、現実的にフィラーの導入はあきらめる。

第6章 存在表現における統語処理の強さを検証する実験(ボタン押しあり)

6.1 方法

前回と比較して実験上の大きな変更点は、被験者にボタン押しのタスクを行わせることである。これによって、被験者が集中力を持続するという点において、大幅な改善がなされると期待される。被験者は、刺激文が提示された後に、正しい文か、間違った文かを判断することになる。

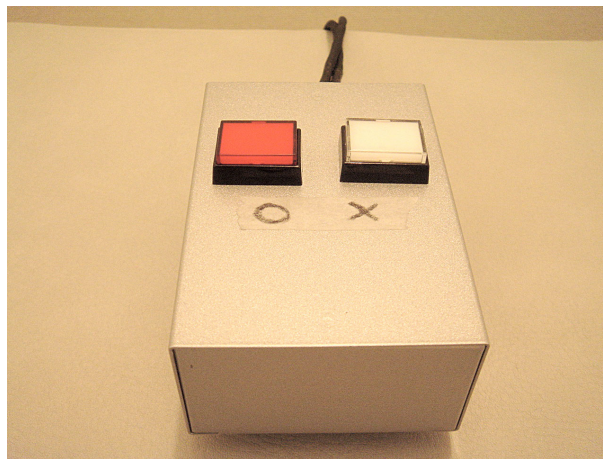


図 6.1: 正誤判断をするためのボタン装置

6.1.1 実験参加者

実験には、年齢が 22 歳から 42 歳まで (Mean=25.71, SD=5.27) の日本語を母国語とする健常な大学院生 21 名 (男性 20 名, 女性 1 名) が参加した。参加者には、実験後に謝礼金が支払われた。実験前に、エジンバラ利き手テスト¹(Edinburgh Handedness Inventory)(Oldfield(1971))を行い、利き手指数 (Laterality Index=L.Q.) が、+50 以上の者を右

¹実際のフォームについては、(Appendix B; p.84) を参照。

利き、-50以下の者を左利き、それ以外の者を両利きとして検討した結果、右利き18名、両利き2名、左利き1名であった。参加者は実験を始める前に、インフォームドコンセントに同意した。21名の参加者の内、10名については、以下の4つの理由に該当するために解析の対象から除外した。これらの具体的な選別条件については、後述する。

1. 実験後に行った不適切文を調査するアンケートで厳し過ぎる回答をした者(1名)
2. 刺激文の提示後に判断するボタン押しタスクで、正答率がよくない者(2名)
3. アーチファクトが多い者(5名)
4. 電極設置の不備やその他の理由で不適切な脳波波形を示す者(2名)

したがって、最終的には、年齢が22歳から26歳まで(Mean=23.72, SD=1.19)の11名の被験者(男性10名, 女性1名)が解析の対象となった。利き手については、右利き9名、両利き1名、左利き1名となった。

6.1.2 刺激文と提示方法の変更

意味の基準点

前回の実験では、刺激の提示前に基準点となるような意味を提示していた。基準点を提示する方法は、負のプライミング効果を防ぐという点で確かに妥当性があるため、今回も採用する。しかし、その提示の仕方には、反省点が多い。例えば、前回の実験で、「おじいさんが こたつに いる。」という文が提示される場合の意味基準点は、以下のようであった。

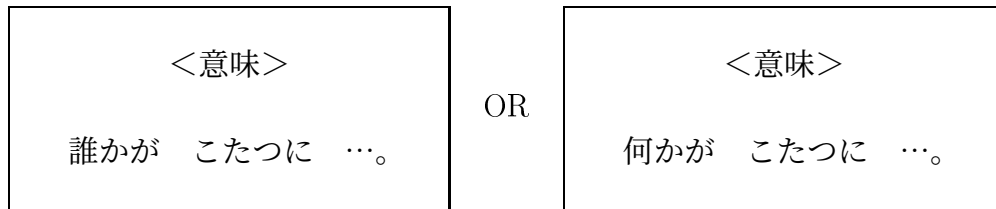
旧

＜意味＞ おじいさんが こたつに 存在する。
--

しかし、この提示方法では、少なくとも2つの問題が存在する。まず、第一文節の主語を刺激文の提示前に公開してしまうので好ましくないと考えられる。つまり、主語の情報を予め与えてしまうと、被験者は反復して同じ単語を読まされることになるので、文を真剣に読まなくなる可能性がある。次に、「存在する」という動詞は、存在表現「いる」と「ある」に対し、中立的な意味を持っているかどうか不明な点である。もし、「存在する」が中立的でないとすれば、提示によって、無用の混乱を被験者に与える可能性がある。

よって、これらの点を考慮した結果、次のように新しい基準点を工夫して用いることを考える。重要な点は、第一文節と第三文節の情報をうまく隠蔽することである。

新



第一文節が動的名詞の場合は、「誰かが」とし、静的名詞の場合は、「何かが」とする。この方法では、主語のカテゴリの情報は与えられるものの、具体的にそれが何であるか特定されることはない。むしろ、次に提示される文に被験者の注意が向くように、うまく誘導する効果があると考えられる。

また、第三文節には、存在表現の代わりに「...。」という余韻を表す表現を挿入する。刺激セットには、存在表現「ある」と「いる」の2種類しか提示されないことを被験者は実験前に説明されているので、あえて第三文節に触れる必要はないと考えられる。よって、このような形で省略した。

以上の工夫によって、意味基準点は利用しやすいものになったと考えられる。

刺激セットの提示手続き

本実験に入る前に、被験者には実験の概要を掴んでもらうために、20問の練習問題を行ってもらった。練習問題で、問題なく正文と誤文の判断ができることを確認してから、本実験に移った。

本実験では、刺激の提示手続きは、次のようになる。

1. 注視点を提示する。
2. 意味基準を提示する。
3. 視覚を抑えるための合図(#####)を提示する。
4. 第一文節の主語を提示する。例「おじいさんが」
5. 第二文節の場所を提示する。例「こたつに」
6. 第三文節の存在表現を提示する。例「いる。」

7. 文の正誤判断を質問し、被験者がボタンを押すまで待機する。

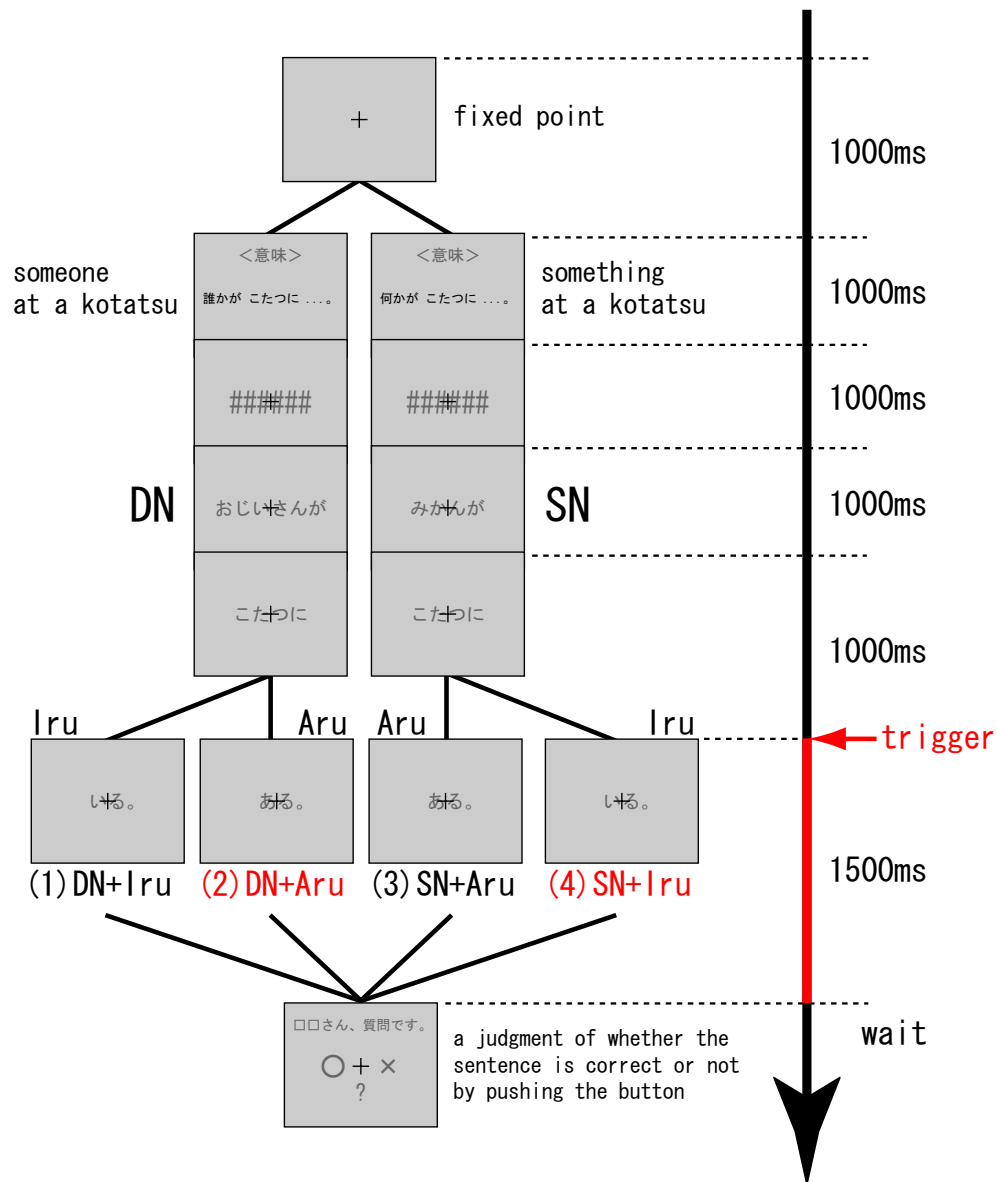


図 6.2: 刺激セットの提示手続き

刺激提示の1試行とは、1. から被験者がボタン押しの判断をする7. までのサイクルを指す。ボタンが押されると、1. に戻って、このサイクルを繰り返す(図 6.2)。注視点は、単語が提示される間も常に重ねて提示され続ける。第三文節を除き、各刺激は1000ms 持続するように提示される。刺激間間隔 (Inter Stimulus Interval, ISI) は挿入しない。第三

文節は、被験者が早くボタンを押す場合(お手つき)があると予想されるので、余裕をもって 1500ms 持続するようにしてある²。

刺激文のランダム化

予め、刺激文は条件ごとにランダム化しておき、刺激の提示順序は後に管理しやすい形で固定しておく必要がある。その理由は、解析時に不適切な文や誤答文を被験者ごとに除く必要があるからである。

ここで、全条件の刺激文のセットを思い出すと、以下のような文があった。1 条件につき 60 の刺激文が含まれている。

- (1) ○ おじいさんが こたつに いる。(動的な名詞 (DN) + 「いる」)
- (2) × おじいさんが こたつに ある。(動的な名詞 (DN) + 「ある」)
- (3) ○ みかんが こたつに ある。(静的な名詞 (SN) + 「ある」)
- (4) × みかんが こたつに いる。(静的な名詞 (SN) + 「いる」)

(1) と (2)、または (3) と (4) は、主語を共有するような条件のペアである。ランダム化の方針としては、主語を共有するような条件のペア同士が短い時間間隔で提示されるのは、望ましくない。刺激に対する慣れを被験者にできるだけ与えないようにするには、時間間隔が極力空いている方がよい。

そこで、次のような問題を考える。

Q 主語を共有する、A と A' のペアの条件がある。このとき、もし A が提示されてから、A' が提示されるまでの時間間隔を平均的に最大にするにはどうすればよいか？

これに対する一つの回答は、前半と後半に分けて同じペアの刺激文を重複しないように配置することである。そのためには、(図 6.3) のように、前半と後半の刺激をペアの条件ごとに入れ替えて配置すればよい。今回の刺激文のランダム化は、このような方法で行った。

なお、一度ランダム化された刺激の順序は、後で変更することはない。

²もし、お手つきがあり、ボタン押しによって電磁場ノイズが発生し、MEG で計測している脳磁場データが乱されても、これは十分問題ない時間間隔である。

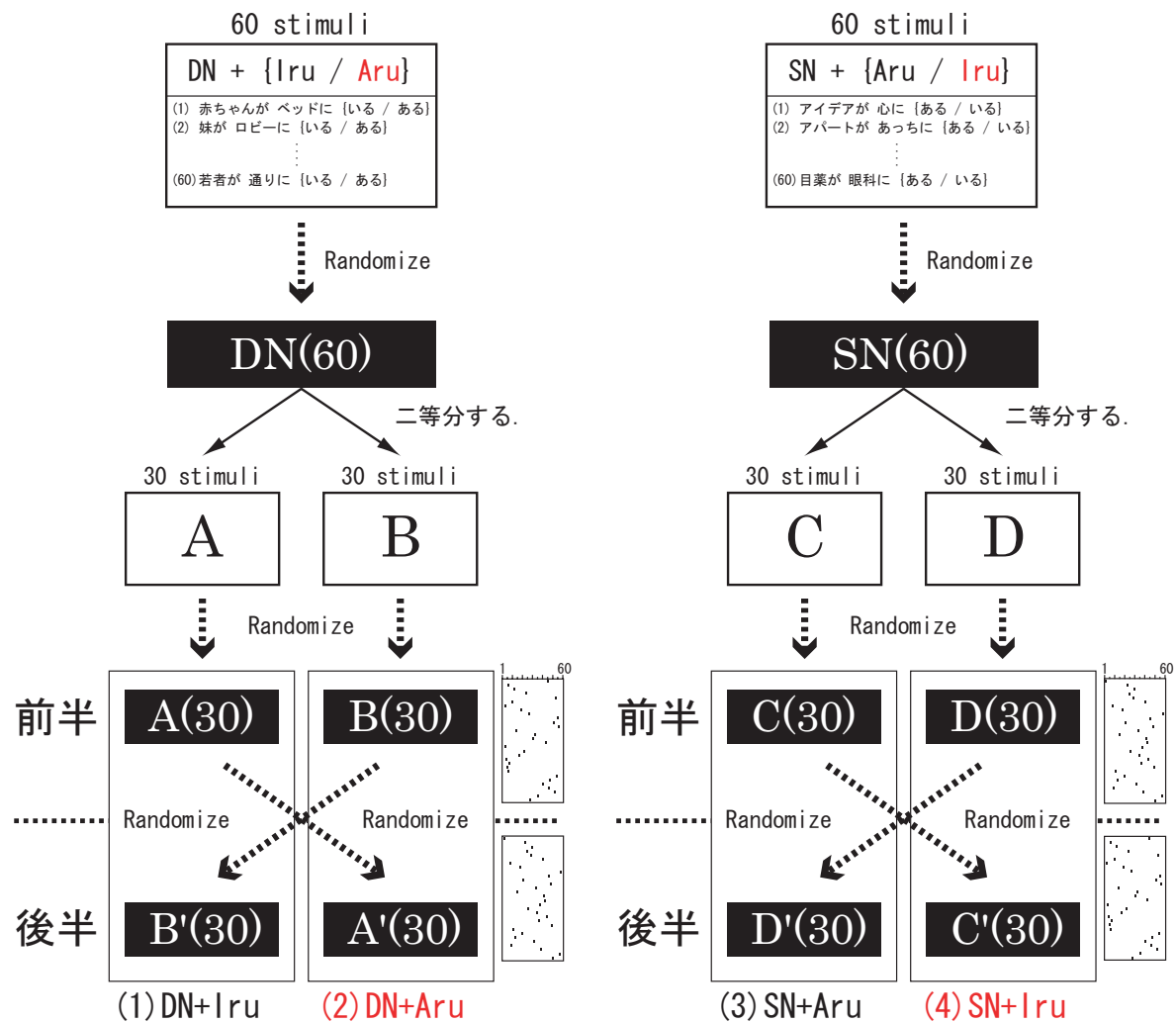


図 6.3: 刺激のランダム化の方法

乱塊法による刺激の提示

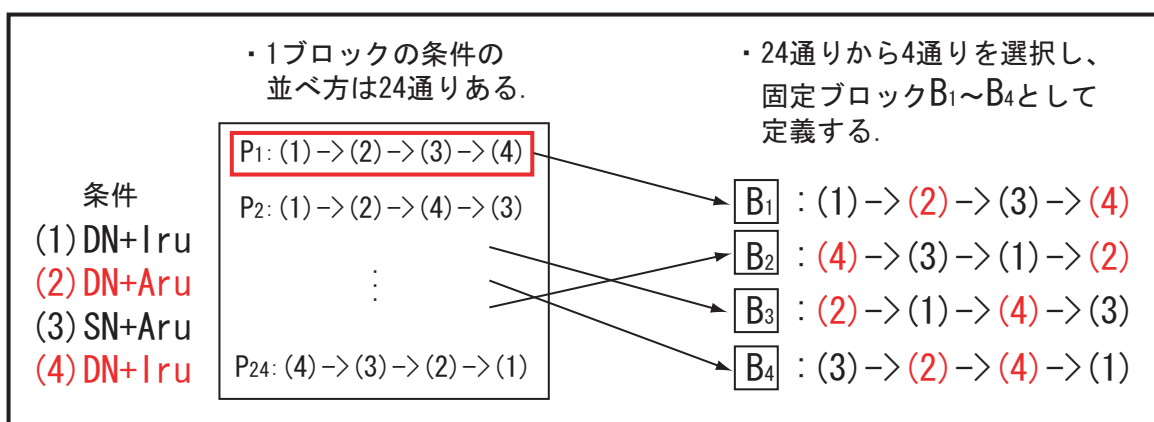
実際に刺激文を提示する方法は、乱塊法 (randomized blocks design) に従った。乱塊法を用いると、ある条件の文が、偏って連続提示されることはない。連続する場合があっても、せいぜい2回までである。

具体的には、4条件を1ブロックとしてまとめ、ブロック内で各条件をランダムに並び替える。つまり、1つのブロック内には、全ての条件が含まれている。また、刺激は全部で240あるので、ブロック単位では、合計60ブロックを提示することになる。全刺激

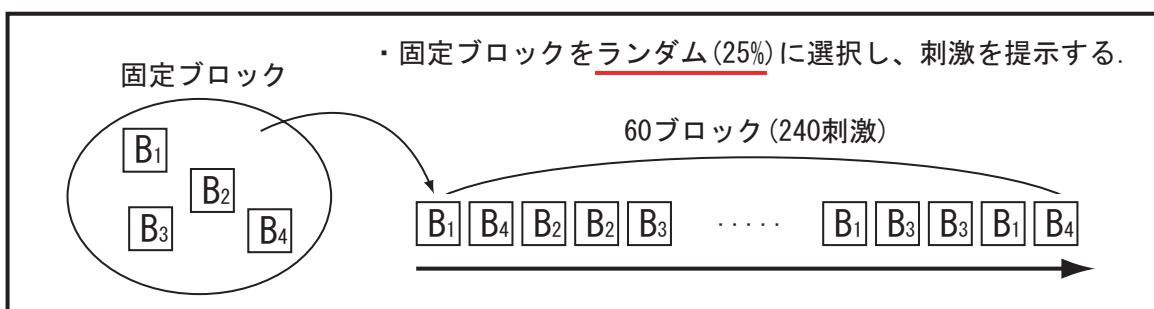
の提示時間は、被験者がボタン押しの判定をする RT に依存し、30 分から 1 時間ほどかかる。

条件の並び替えの方法は、実際には $4! = 24$ 通りあるが、今回作成した Presentation のプログラムでは、全ての順列を選択するのは、大変なので近似的に乱塊法を実現している。具体的な方法は、まず、24 通りの並び方から代表して、できるだけ偏りの少ない 4 組を固定ブロックとして定義する。次に、定義された、4 つの固定ブロックから 1 ブロックを 25 % の確率で選択する。これを全 60 ブロックについて繰り返すことで、簡単に近似的な乱塊法が実現される。

固定ブロックの定義



全刺激セット

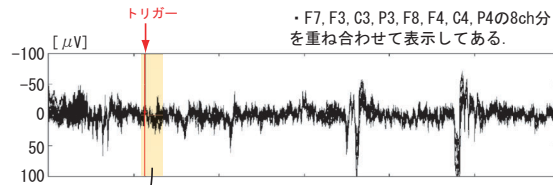


・ Presentation プログラムでは、近似的な乱塊法 (randomized blocks design) を実現している。

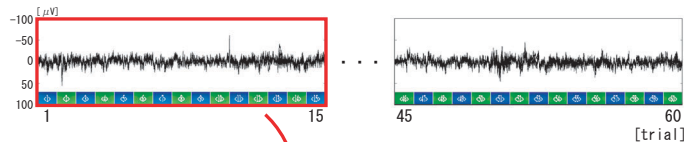
図 6.4: 近似的な乱塊法による刺激の提示

6.1.3 データ解析の手順

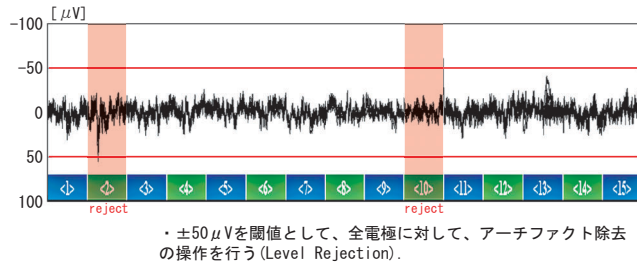
1. 原波形



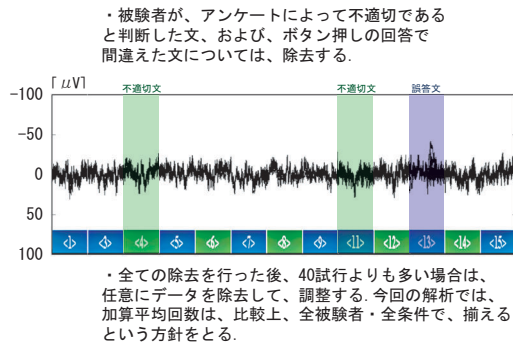
2. エポック



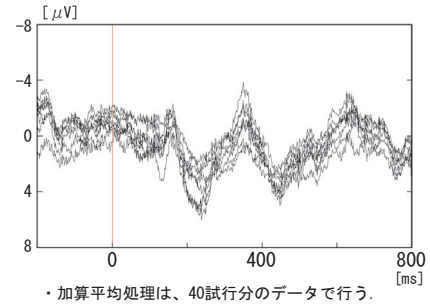
3. アーチファクトの除去



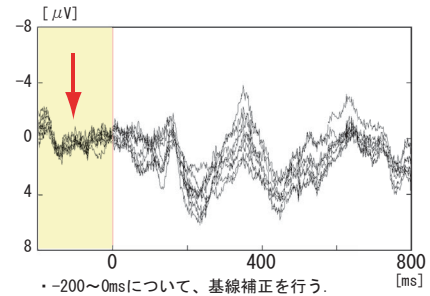
4. アンケートによる不適切文 & ボタン押しによる誤答文 の除去



5. 加算平均



6. ベースライン補正



7. フィルタリング

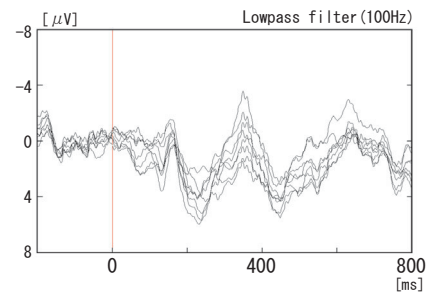


図 6.5: データ解析の手順

解析対象の時間区間は、トリガー前-200ms から 1000ms とした。ベースラインは、トリガー前-200ms から 0ms である。

6.1.4 被験者の選別

以下の条件に該当する者は、解析データから除いた。その結果、解析に利用できた被験者のデータは、11人分となった。

1. アンケートによる不適切文の数がボタン押しの誤答数よりも15以上多い者
2. ボタン押しの誤答数がアンケートによる不適切文の数よりも15以上多い者
3. 各60試行ある刺激条件の内、少なくとも1条件で20試行以上のレベルリジェクションにかかった者
4. 解析の結果、不適切な波形を示す者

表 6.1: 被験者の選別

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
(1)			×																		
(2)						×									×						
(3)		×				×		×				×		×						×	
(4)					×					×											
選別	1			4			7		9		11		13			16	17	18	19		21

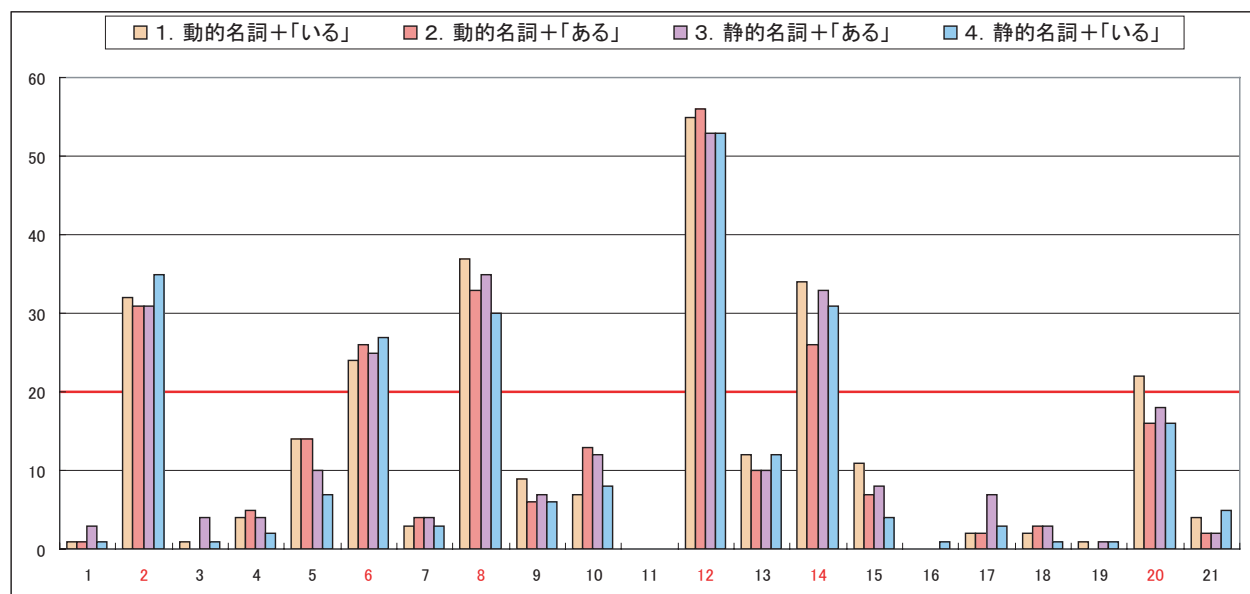


図 6.6: $\pm 50\mu V$ を閾値とするレベルリジェクションにかかった試行数

6.2 結果

適正率と誤答率

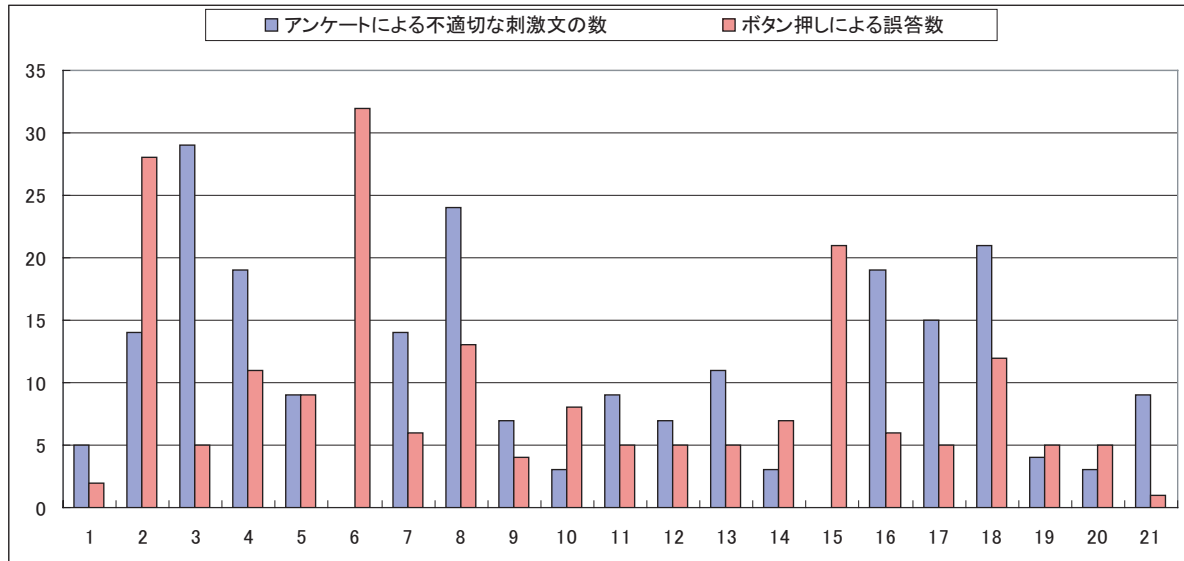


図 6.7: 被験者毎: アンケートによる不適切文とボタン押しによる誤答数

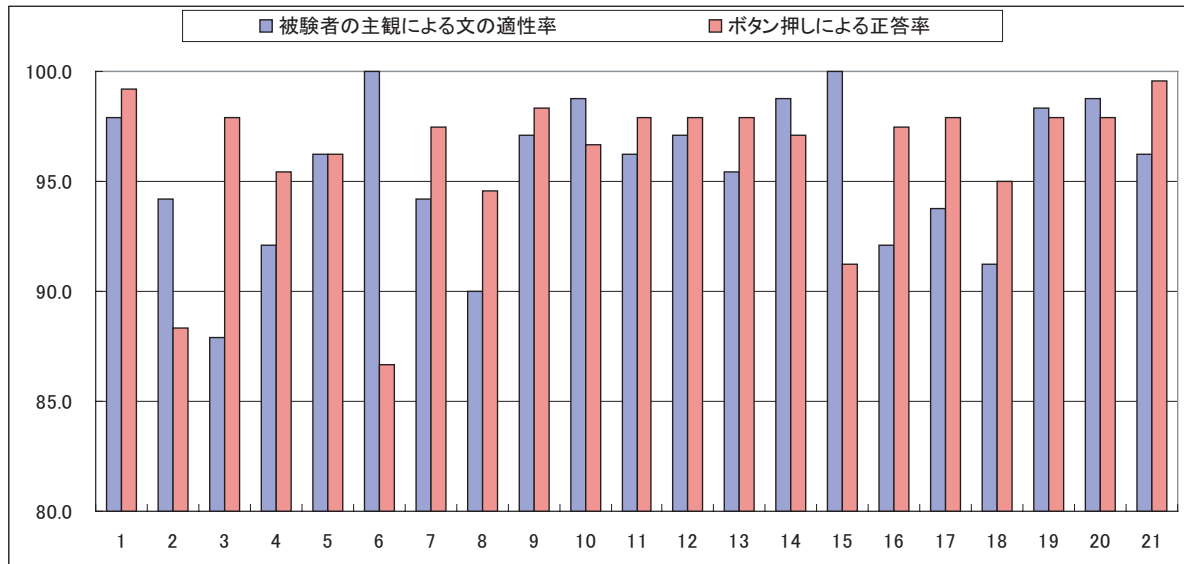


図 6.8: 被験者毎: 刺激文の適正率とボタン押しの正答率

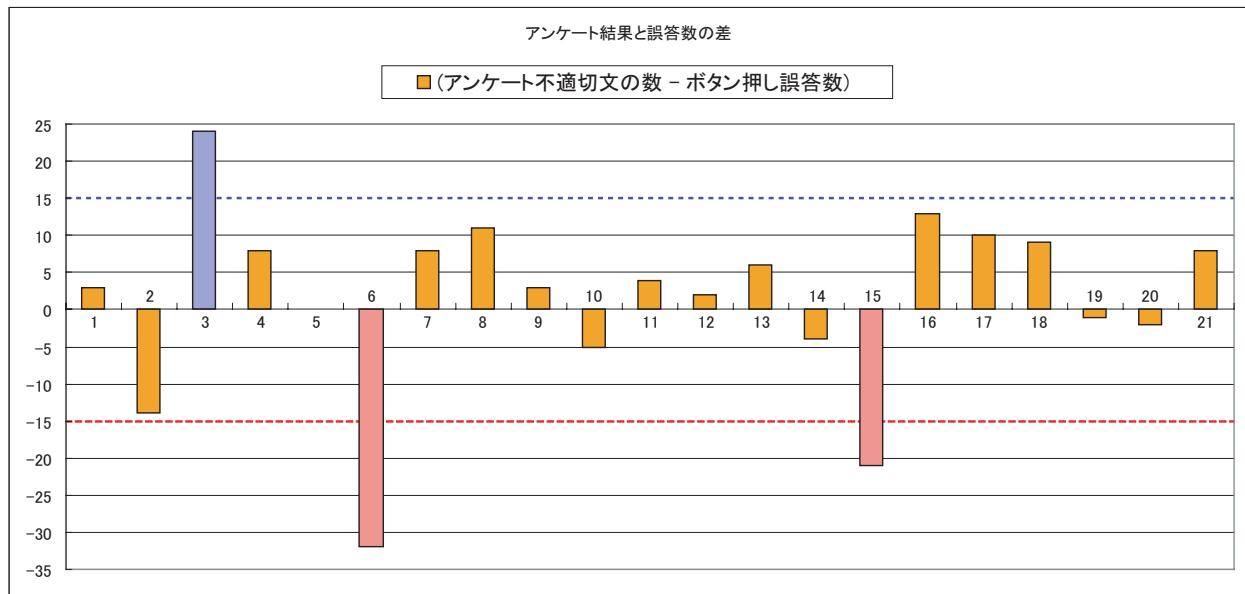


図 6.9: 被験者毎: 不適切文の数と誤答数の差

6.2.1 統計処理

まず、本研究で行う統計解析の基本的な指針を述べる。

- 2つの時間区間、(1)300-400ms および (2)600-700ms について別々に分析を行う。
- 全体の検定では、電極 (8) × 条件 (4) の繰り返しありの二元配置 ANOVA を行う。
- 下位検定では、電極 (8) について、それぞれ条件 (4) の繰り返しありの一元配置 ANOVA を行う。
- 下位検定で主効果が認められた条件については、交互作用対比を行わずに、Bonferroni の方法を用いて多重比較を直接行う。

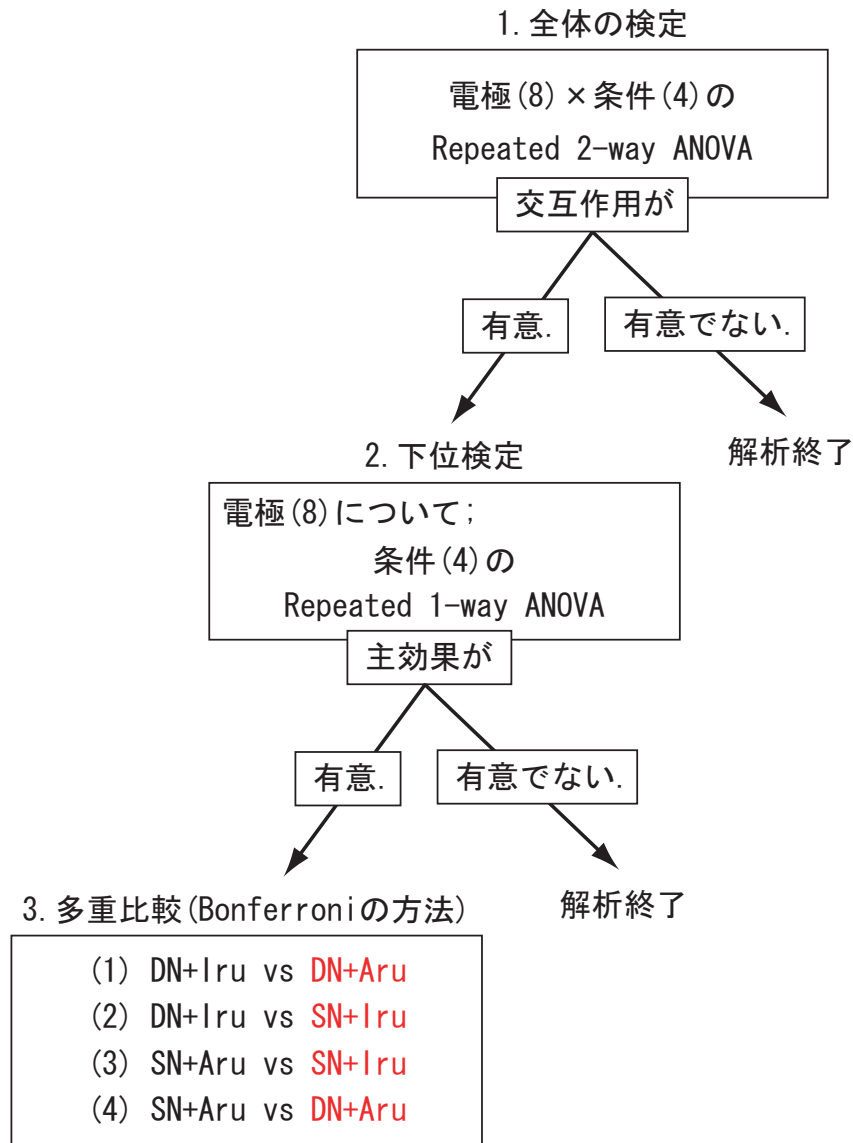


図 6.10: 分散分析のフローチャート

グラフで差のある ERP 成分が、統計的に有意であることを確かめるためには、一般的に、反復測定分散分析 (Analysis of variance; ANOVA) を行わなければならない。ANOVA を適用するためには、以下の仮定が満たされていないことが知られている。

- 得られたデータが正規分布であること。
- 等分散性が成り立つこと。

殆どの場合、以上の仮定は満たされていないと考えられる。先行研究によって、ANOVA は、上記の仮定が破られていた場合に対しても比較的、頑健であることが確かめられてい

るが、慎重に解析を行わなければ、第一種のエラー³を導きかねない。

本研究では、等分散性のチェックに、Mauchly の球面性検定を行い、誤差共分散行列が単位行列に比例するという帰無仮説が全ての条件で棄却されることを確かめた。

よって、球面性の仮定が破れた条件に対して検定を行うためには、現在、方法が幾つか存在するが⁴、本研究では、自由度の調整を行った後に ANOVA を行う方法を選択する。

自由度の調整には、イプシロン (ϵ) という係数を求めなければならないが、選択肢は 2 種類ある。

- Greenhouse-Geisser の ϵ
- Huynh-Feldt の ϵ

今回は、Greenhouse-Geisser の ϵ を用いて、自由度の調整を行った。ANOVA の解析の結果、電極 $\times$ 条件の交互作用が有意になった条件のみについて、多重比較を行った。多重比較は、Bonferoni の方法を用いた。統計ソフトには、SPSS を使用した。結果を以下に提示する。

表 6.2: Summary of repeated-measures 2-way ANOVA ; (全体の検定, 8 電極 $\times$ 4 条件)

		300-400 ms	600-700 ms
電極	$F(7, 70)$	15.194***	8.759**
条件	$F(3, 30)$	17.823***	3.544*
電極 $\times$ 条件	$F(21, 210)$	4.054**	2.515*

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$.

下位検定は、全体の検定の結果を用いず、プールせずに行った。

³実際は差がないのに差があると判定するエラー。

⁴その他に、MANOVA、GMANOVA などを使用する方法がある。

表 6.3: Summary of repeated-measures 1-way ANOVA ; (下位検定, 電極における条件)

電極		300-400 ms	600-700 ms
F7	$F(3, 30)$	6.110**	2.187
F3	$F(3, 30)$	13.397***	1.150
C3	$F(3, 30)$	19.587***	2.400
P3	$F(3, 30)$	16.651***	4.885*
F8	$F(3, 30)$	6.497**	2.754
F4	$F(3, 30)$	10.963***	2.292
C4	$F(3, 30)$	14.426***	3.553*
P4	$F(3, 30)$	18.204***	4.739*

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$.

以上の下位検定によって、有意になった条件についてのみ、多重比較を行った。多重比較の結果、有意になった ERP 波形の時間区間については、色付けをして示してある。

比較の組み合わせは、全部で ${}_4C_2 = 6$ 通りあるが、電極ごとに比較を行うペアは、以下の 4 つに限る。興味あるのは、正文 $\times$ 誤文の組み合わせであるから、 $2 \times 2 = 4$ 通りである。正文同士 (DN+Iru vs SN+Aru) や 誤文同士 (DN+Aru vs SN+Iru) の比較は行わない。

表 6.4: 多重比較を行うペアと帰無仮説

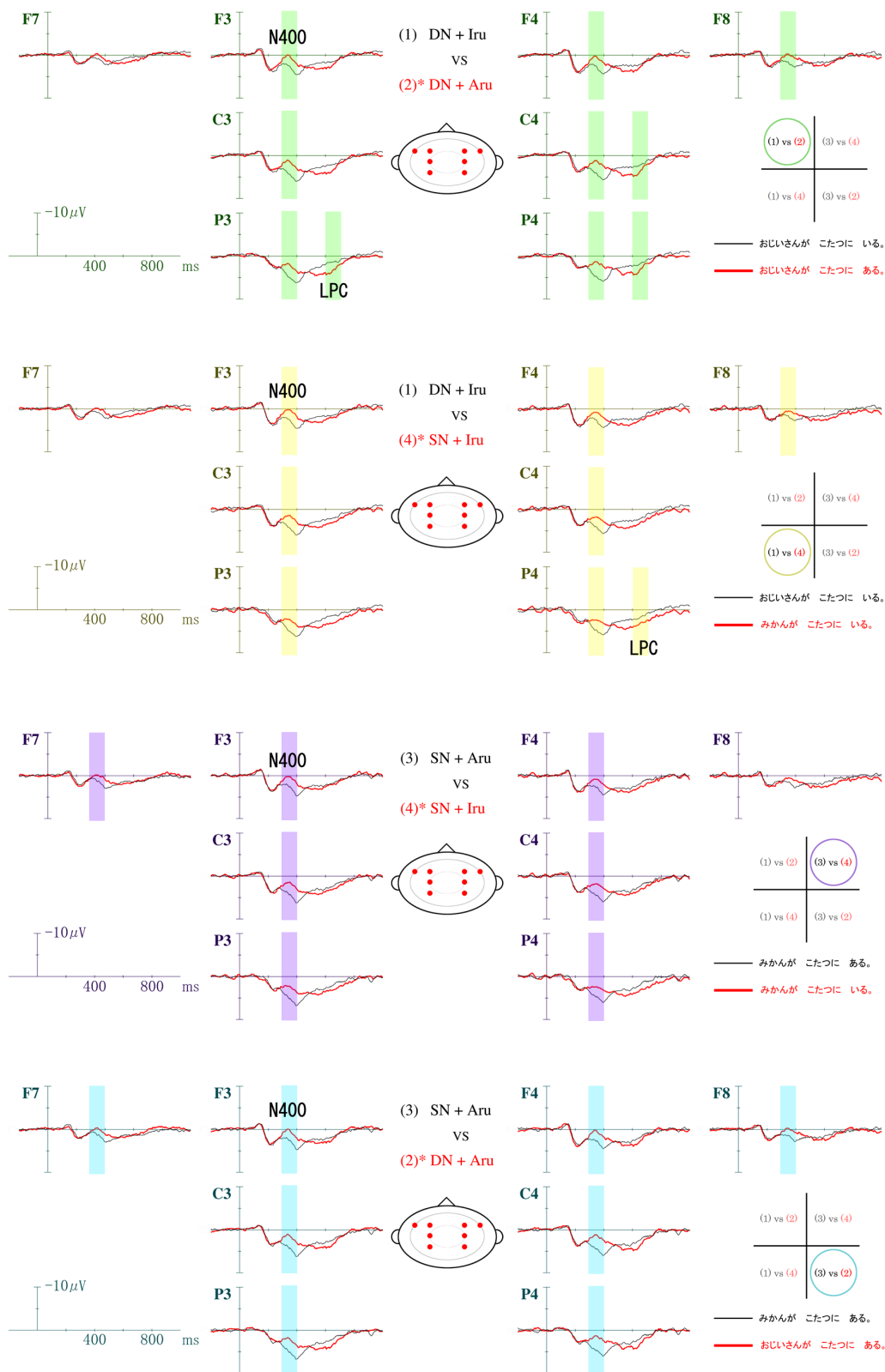
比較ペア	正文	vs	誤文	帰無仮説
(1)	DN+Iru	vs	*DN+Aru	$\mu_1 = \mu_2$
(2)	DN+Iru	vs	*SN+Iru	$\mu_1 = \mu_4$
(3)	SN+Aru	vs	*SN+Iru	$\mu_3 = \mu_4$
(4)	SN+Aru	vs	*DN+Aru	$\mu_3 = \mu_2$

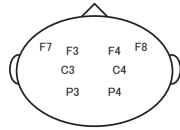
よって、Bonferroni の方法を用いて多重比較を行う帰無仮説族 (family of null hypotheses) を明らかにすると、以下のようになる。帰無仮説の個数は 4 つである。

帰無仮説族

$$\mu_1 = \mu_2, \quad \mu_1 = \mu_4, \quad \mu_3 = \mu_4, \quad \mu_3 = \mu_2$$

6.2.2 加算平均波形 (N=11)





300ms-400ms区間の振幅の平均値

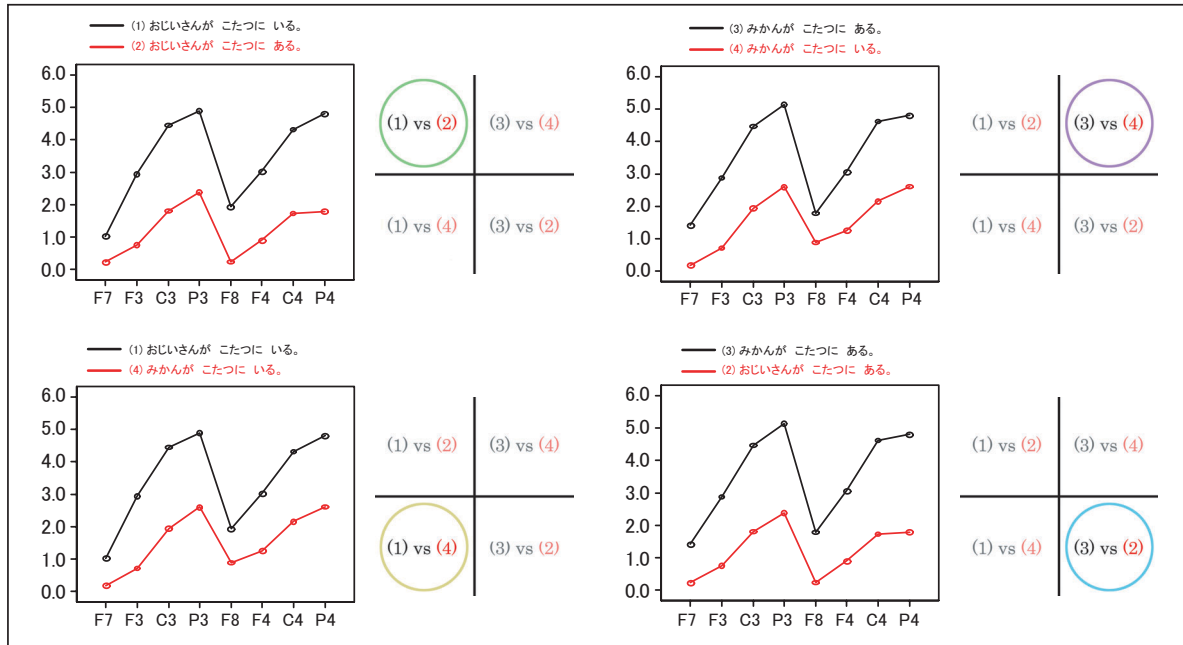


図 6.11: 実験 (ボタン押しあり) の電極の平均値の比較; 300ms-400ms 区間

300ms-400ms区間の振幅の平均値

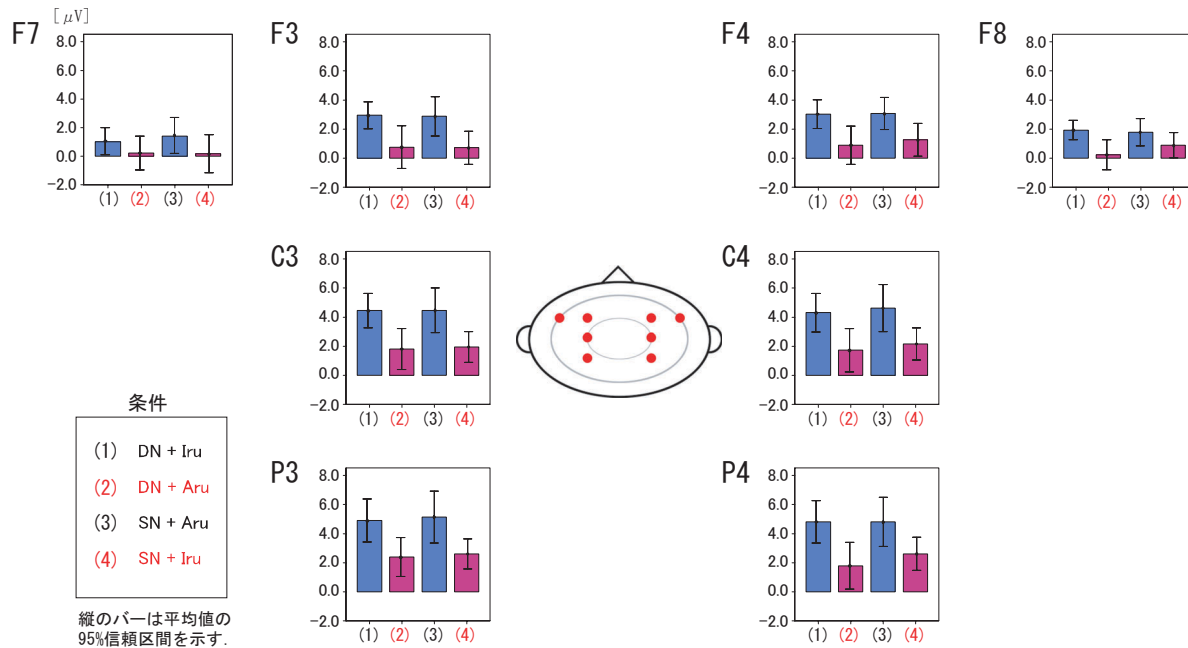
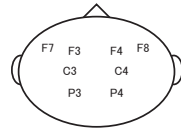


図 6.12: 実験 (ボタン押しあり) の4条件の平均値の比較; 300ms-400ms 区間



600ms-700ms区間の振幅の平均値

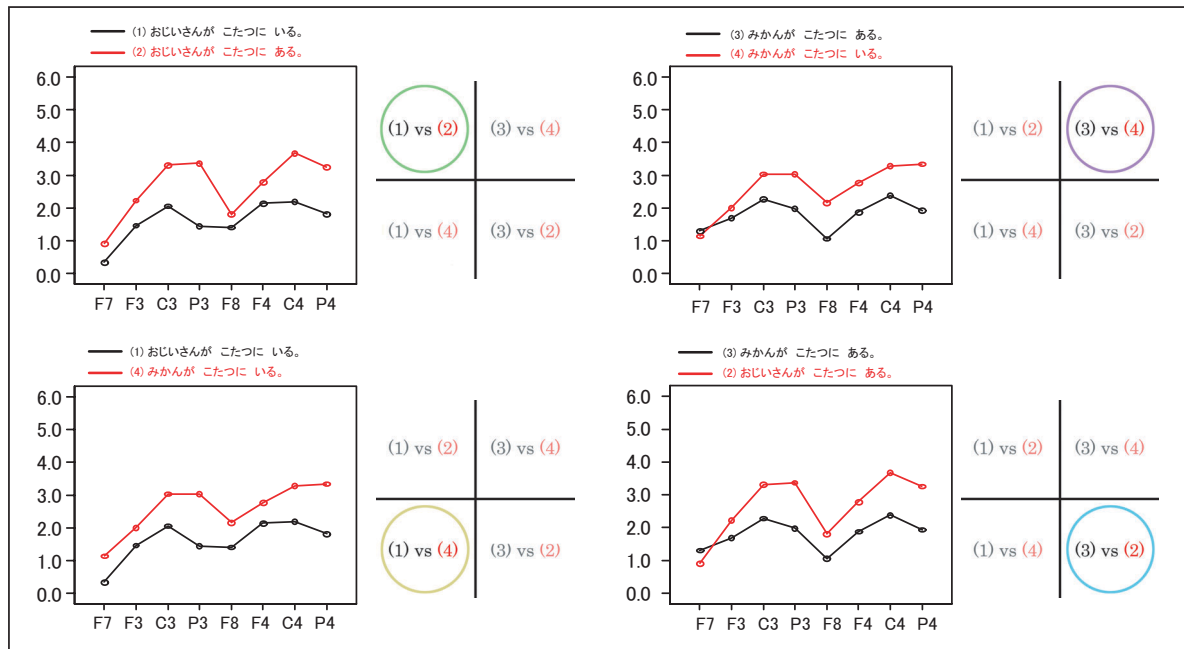


図 6.13: 実験 (ボタン押しあり) の電極の平均値の比較; 600ms-700ms 区間

600ms-700ms区間の振幅の平均値

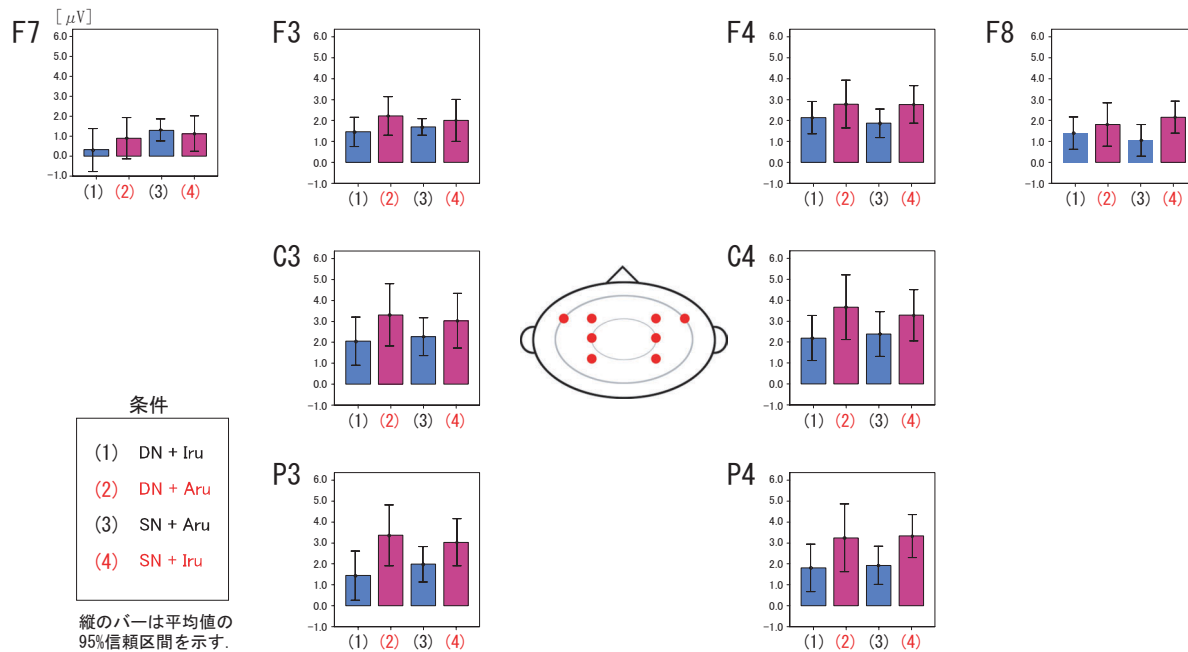


図 6.14: 実験 (ボタン押しあり) の4条件の平均値の比較; 600ms-700ms 区間

6.2.3 t 検定を用いた新しい解析法の提案

新しい解析を提案する。

対応のない t 検定の場合、等分散性が仮定されてるデータであれば、検定統計量、t 値は以下のように定義される。

対応のない t 検定

$$t \text{ 値} : t = \frac{\overline{x}_a - \overline{x}_b}{\sqrt{u^2 \left(\frac{1}{n_a} + \frac{1}{n_b} \right)}}$$

$$\text{自由度} : d.f. = n_a + n_b - 2$$

$$\text{併合分散} : u^2 = \frac{(n_a - 1) s_a^2 + (n_b - 1) s_b^2}{d.f.}$$

比較を行う、誤文 a , 正文 b の

標本平均 : $\overline{x}_a, \overline{x}_b$

不偏分散 : s_a^2, s_b^2

標本数 : n_a, n_b

$$t \text{ 値} : t = \frac{\bar{d}}{\sqrt{\frac{s_d^2}{n}}}$$

$$\text{自由度} : d.f. = n - 1$$

$$\text{不偏分散} : s_d^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{d.f.}$$

比較を行う、誤文 a , 正文 b の標本を a_i, b_i とすると、

$$\text{差の標本} : d_i = a_i - b_i$$

$$\text{差の標本平均} : \bar{d}$$

$$\text{差の標本数} : n$$

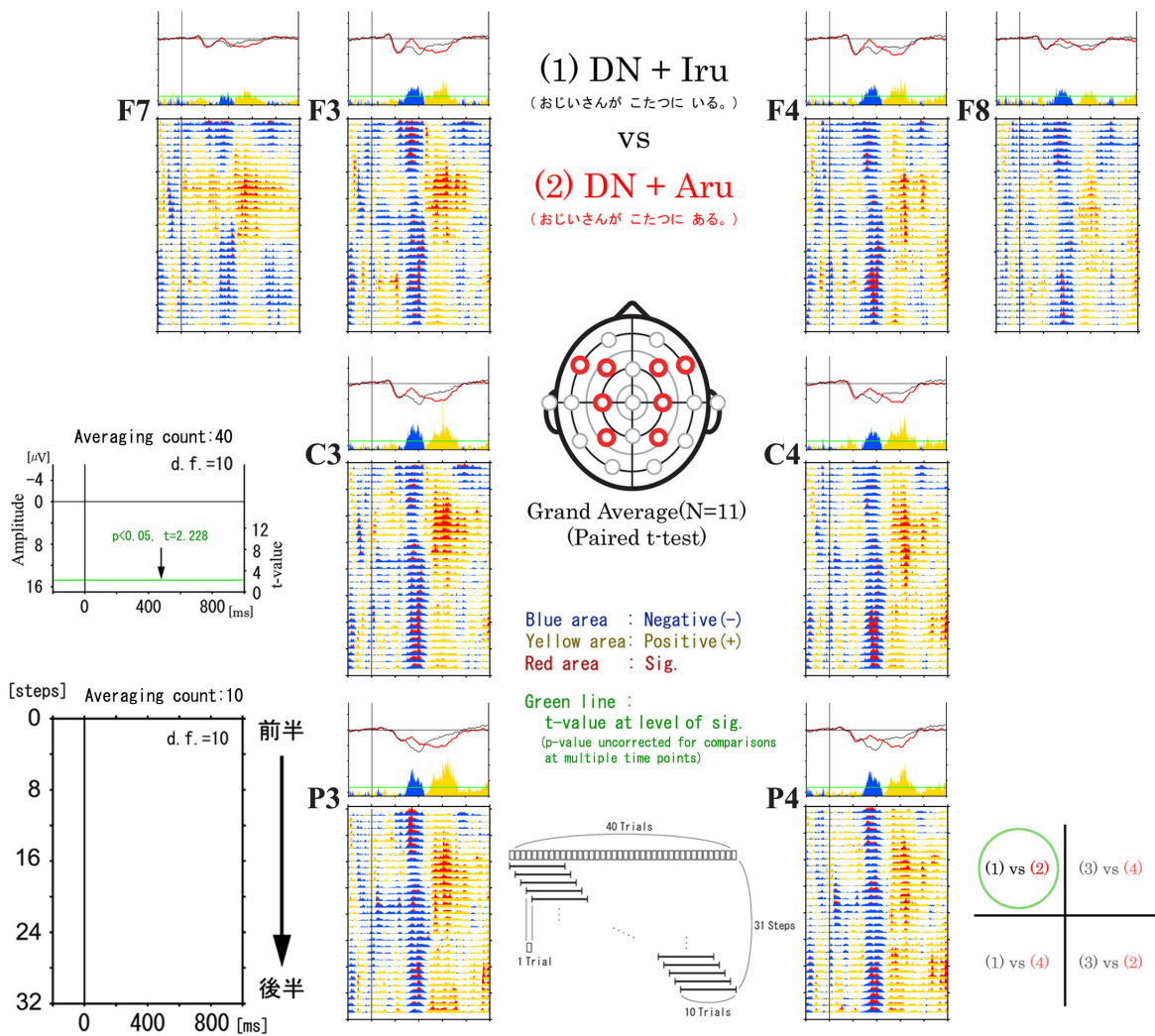


図 6.15: 時系列方向における対応のある t 検定 (上) と時系列とトライアル方向における対応のある t 検定 (下)

6.2.4 MEG データとの対応

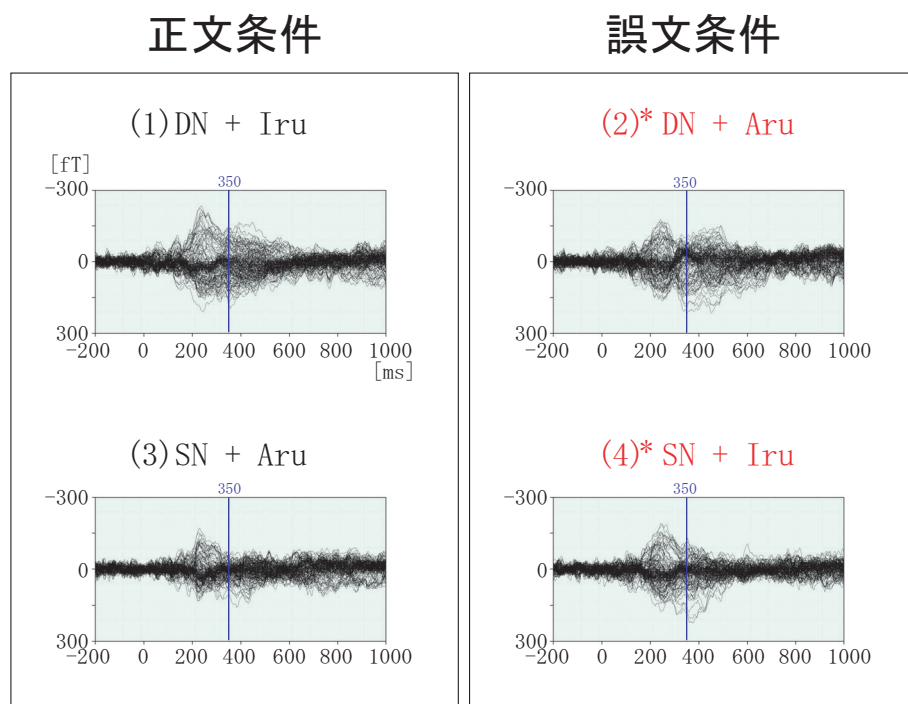


図 6.16: 正文と誤文の全 MEG チャンネル比較 (被験者 11)

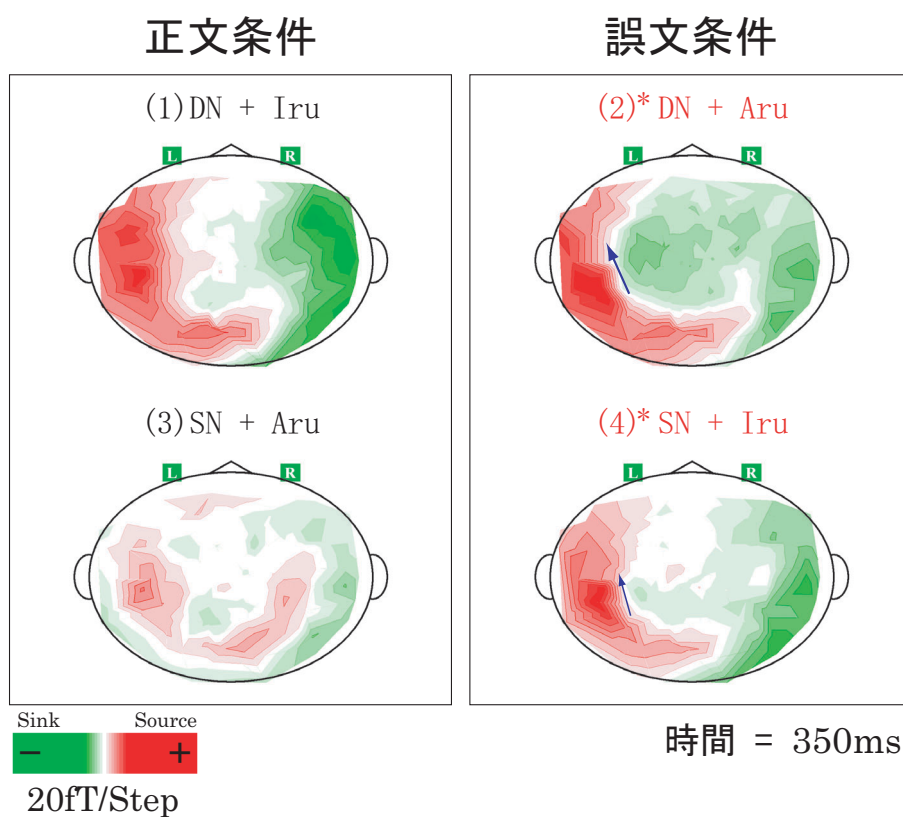


図 6.17: 正文と誤文の磁場分布比較 (被験者 11)

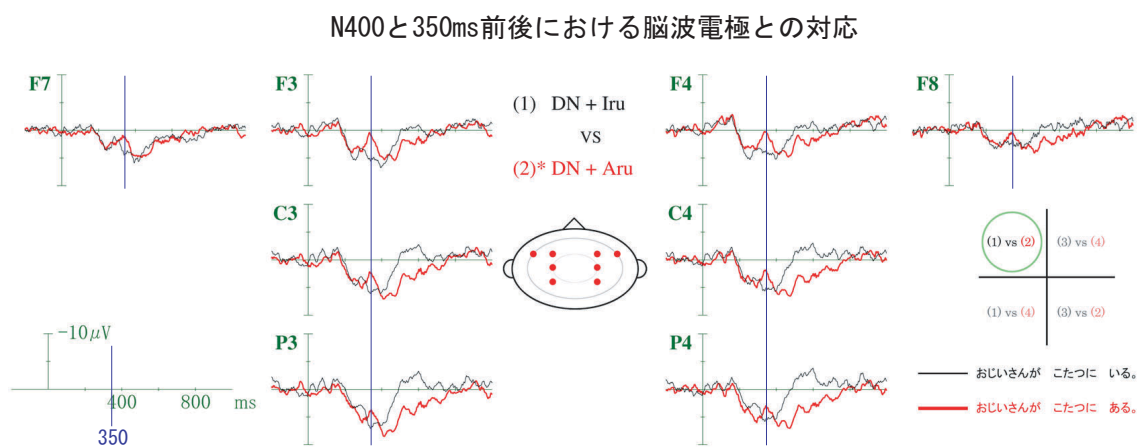
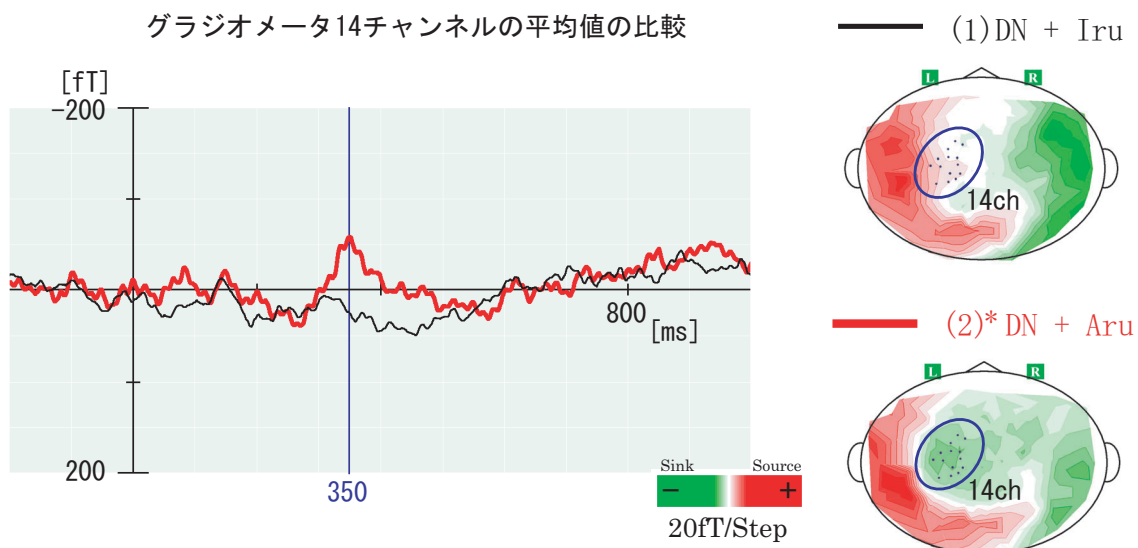


図 6.18: 350ms における MEG と脳波の波形比較 (被験者 11) ; 条件 (1 vs 2)

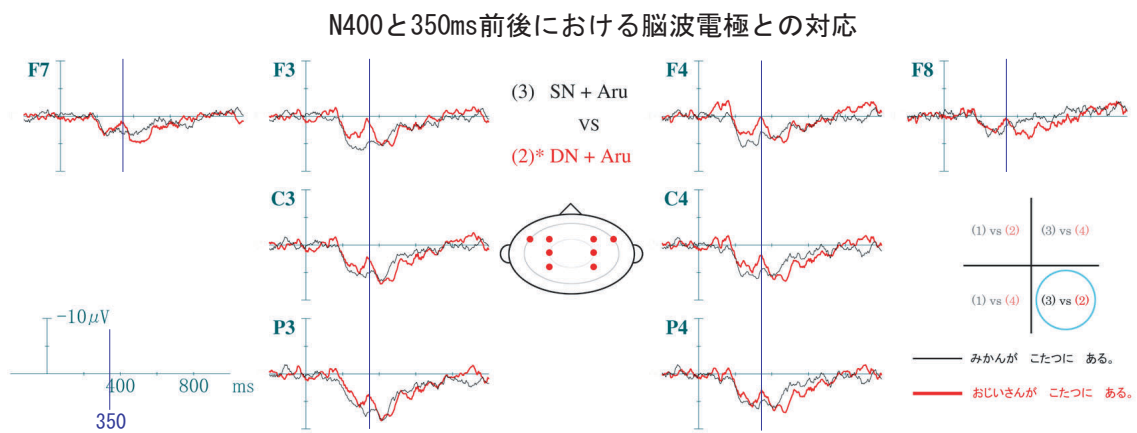
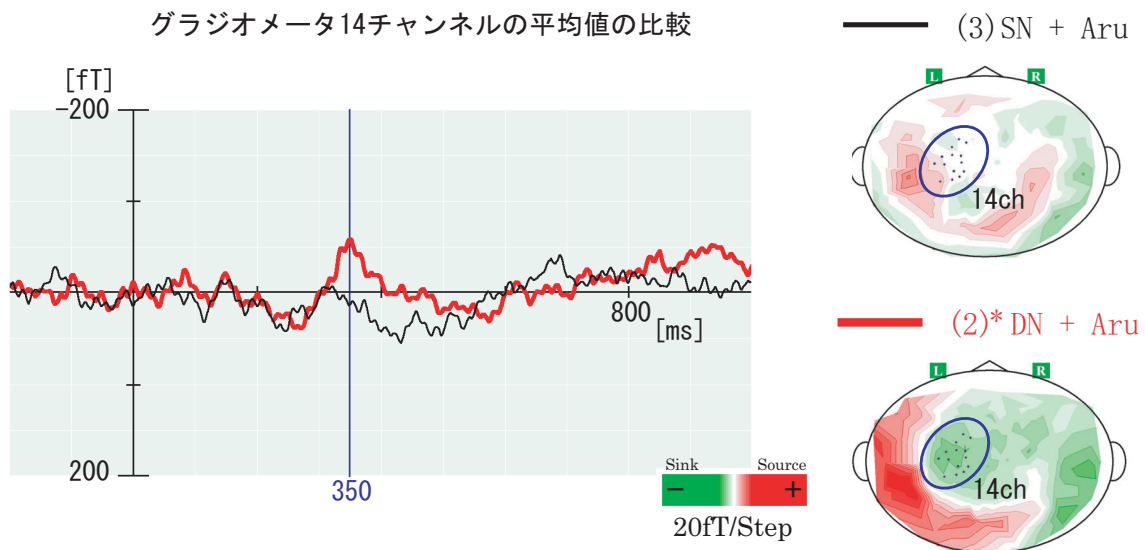


図 6.19: 350ms における MEG と脳波の波形比較 (被験者 11); 条件 (3 vs 2)

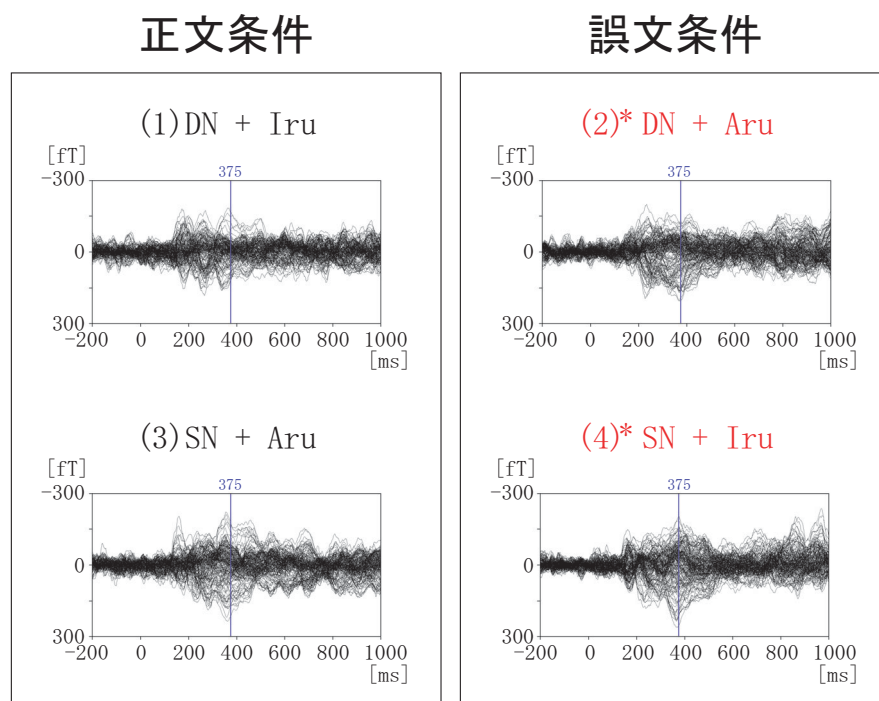


図 6.20: 正文と誤文の全 MEG チャンネル比較 (被験者 19)

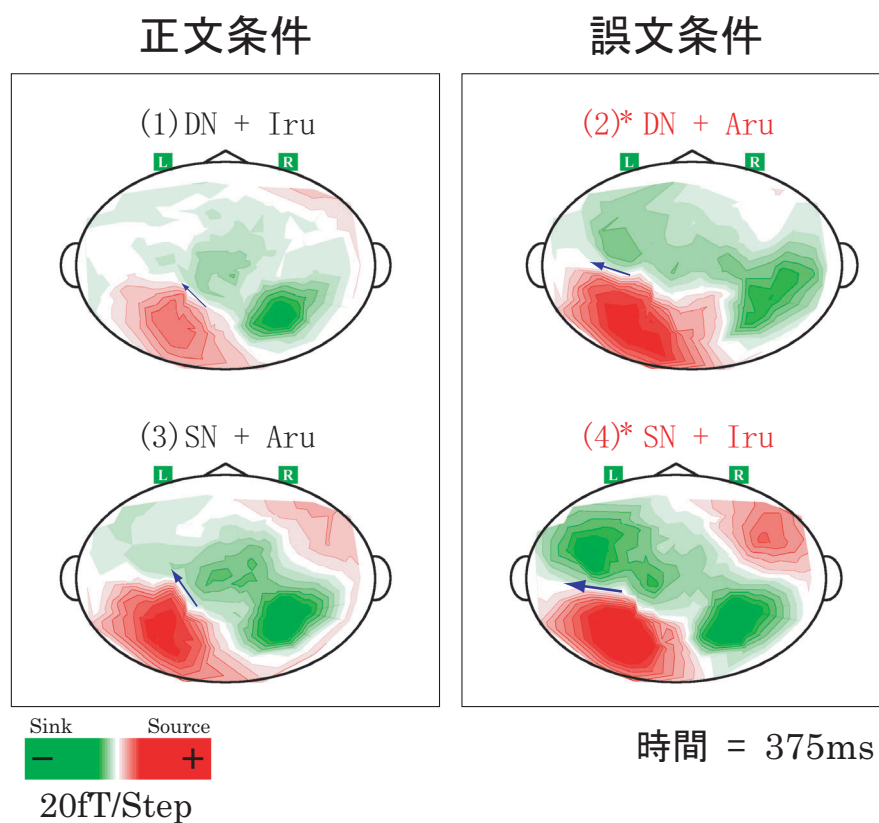


図 6.21: 正文と誤文の磁場分布比較 (被験者 19)

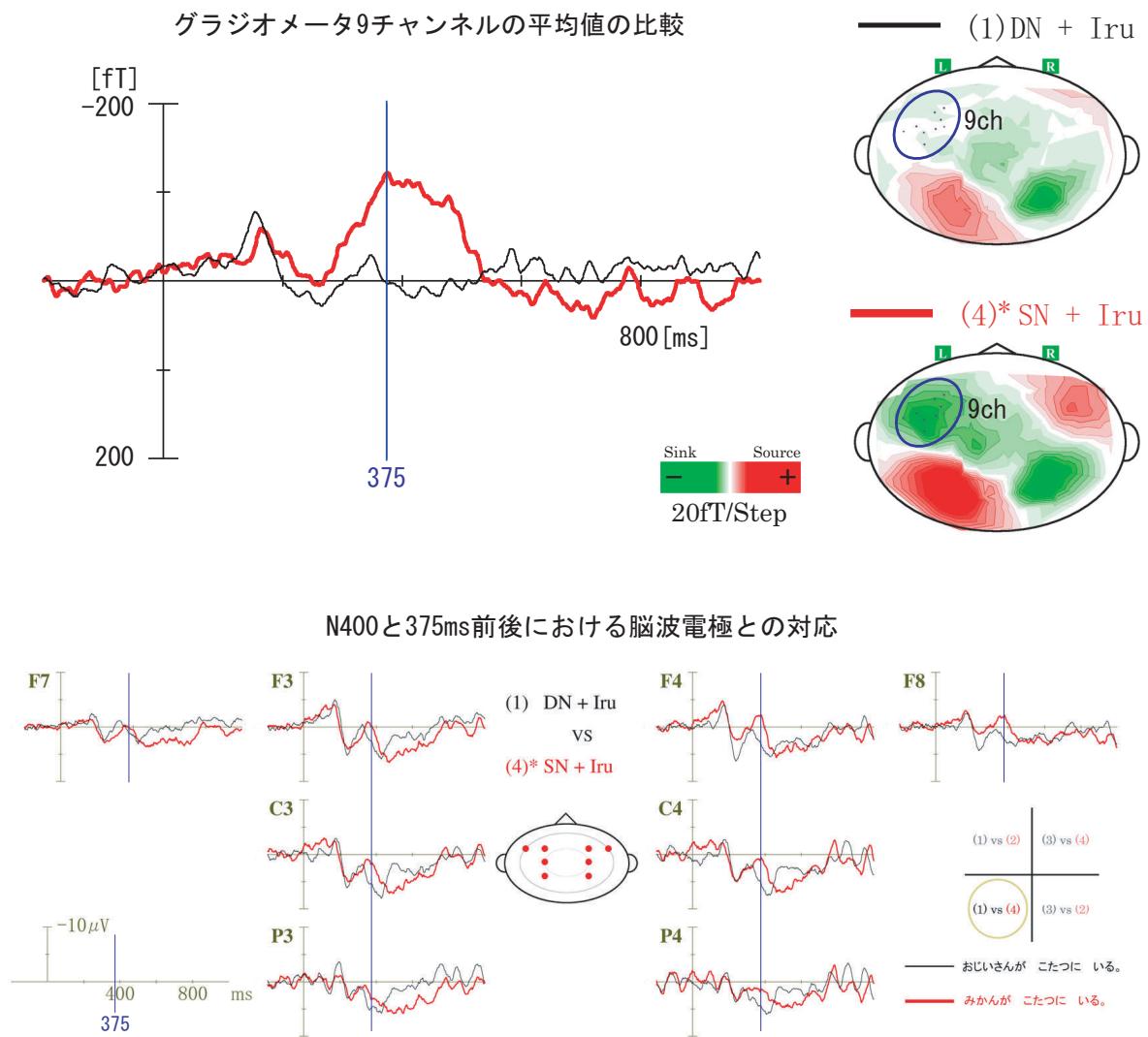


図 6.22: 350ms における MEG と脳波の波形比較 (被験者 19); 条件 (1 vs 4)

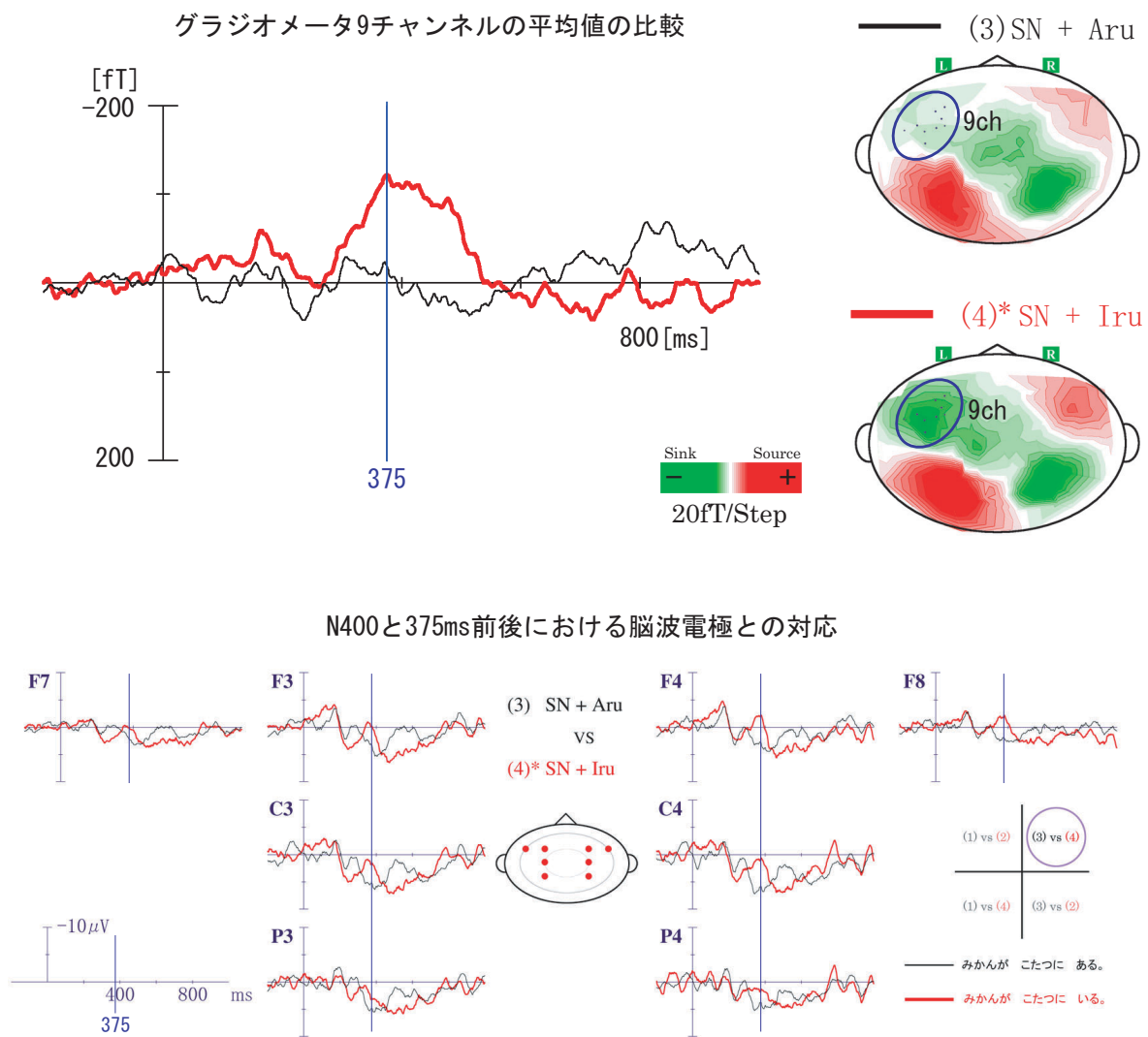


図 6.23: 350ms における MEG と脳波の波形比較 (被験者 19); 条件 (3 vs 4)

第7章 議論

全ての正文と誤文の比較において、350msに陰性の電位を観測した。この成分は、N400と考えられることから、存在を表す動詞「いる」と「ある」は、必ずしも統語的な制約に縛られている、とは結論付けられない。つまり、「いる」と期待される場所に「ある」がくる場合や、また、その逆の場合でも、意味は処理されうることを示している。その場合、文は逸脱文として解釈されると考えられる。

例えば、

- おじいさんが こたつに ある。
- みかんが こたつに いる。

のような文でも、統語的には全く問題なく意味が理解されることがある。文意としては、明らかに奇妙であるので、結果的には、N400 が支配的に観測されたと考えられる。人を物のように感じたり、物にも心が宿っていると考えれば、確かに意味は読み取れる。

地方による、いるあるの使い方の違い。いるあるの他に「おる」が考えられる。

「いる」も「ある」も定義によって決定できるような統語的な規則を持っておらず、読み手の認知過程によって、いずれも適用できるような存在表現であると結論付けられる。

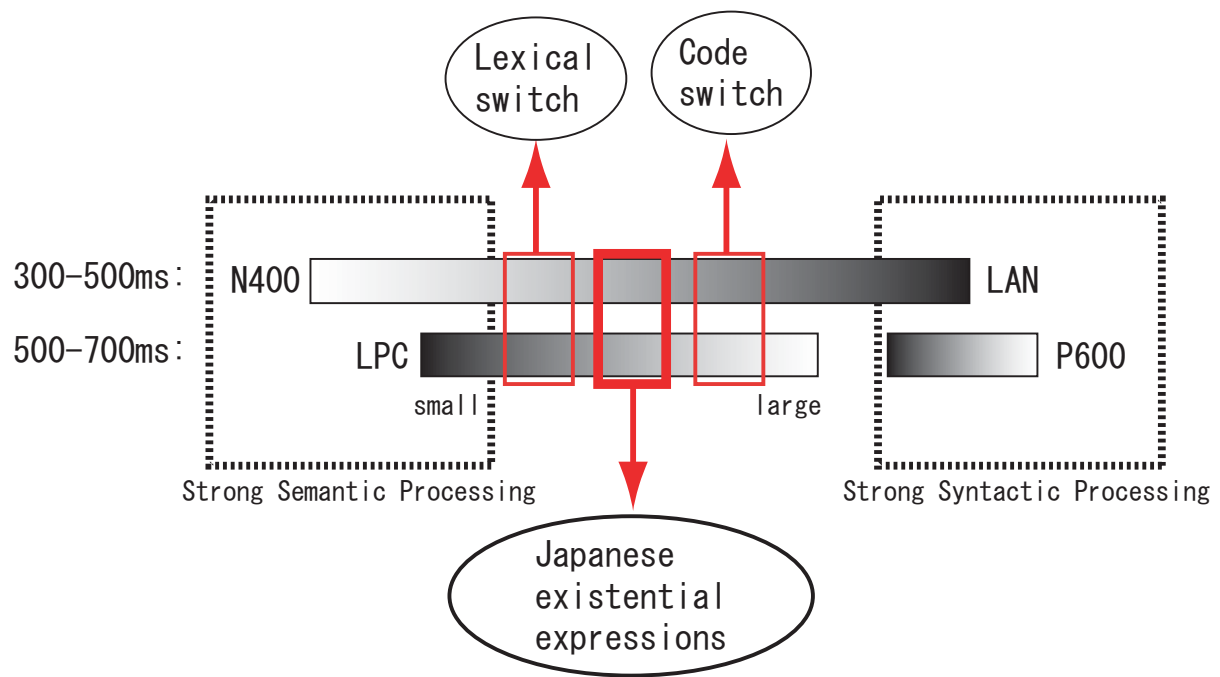


図 7.1: N400 と LPC の仮説

参考文献

- [1] Jutta Müller, Anja Hahne, et al. Syntactic processing in japanese as revealed by erps, 2003.
- [2] 山口秋穂. 日本語の論理 言葉に表れる思想. 大修館書店, 2004.
- [3] 柴崎浩, 米倉義晴. 脳のイメージングー脳のはたらきはどこまで画像化できるか. ブレインサイエンス・シリーズ. 共立出版, 1994.
- [4] 中里信和. Edinburgh handedness inventory. URL. http://www.ne.jp/asahi/home-office/nak/doctor/manual_image/edingburgh.html.
- [5] 養老孟司. 死の壁. 新潮新書, 2004. 第四章 死体の人称, p.76-.

謝辞

本研究の主旨導教官である藤波努助教授には、最後まで多大なご指導を賜り、感謝の言葉も見つかりません。しかし、だからこそ、ここに改めて、厚く御礼申し上げます。ありがとうございました。

本研究に対して、メールで計り知れない助言を賜った東京都立大、博士課程3年の曾雌さんに心より感謝致します。曾雌さんに出会うことがなければ、本研究が存在することはなかったと言っても過言ではありません。

MEG装置および脳波計を自由に使用させて頂き、全面的に研究の支援を賜った金沢工業大学、先端電子技術応用研究所の樋口先生、研究員の初坂さん、川渕さんに心より感謝します。楽しく研究が続けられたのも皆さんのおかげです。

MEGのトレーニングコースで本研究の指針を初めて示して頂き、常に私の目標となってくれた、生理学研究所の尾島さん、CBLセミナーで貴重な交流の機会を与えて頂いた広島大学の酒井先生に心より感謝致します。

学問を志す同胞として2年間励まし、刺激を与え続けてくれた、Ho研の虫明さん、永井さん、國藤研の伊藤君、遠山研の田口君に心から感謝致します。

形式意味論の読書会を通して、私にとって、全く新しい世界に触れるきっかけを与えてくれた、寺さん、Stijnさんに大変感謝致します。

どこかで会う度にいつも元気をくれ、また実験の参加者を募集する際にも快く手伝ってくれた、近藤研のM1、佐藤君に感謝します。

実験の被験者や助言、手伝いをしてくれ、様々な折に話し相手になってくれた藤波研のM1、井口君、植西君、大田君、山田さんに感謝します。

本実験で意欲的に手伝ってくれた國藤研のM1、井上君に感謝します。

様々な折に研究の話を聞いてくれた、佐藤研の山本助手、同講座の國藤進教授に感謝致

します。

名前を挙げきれませんが、実験に参加して頂いた多くの皆さんに心より感謝致します。

二年間の生活を心配せずに送れたのは、三谷育英会より奨学金の援助があったおかげです。この場を借りて、心よりお礼申し上げます。

最後に、学業と生活の支えになってくれた両親に感謝致します。

本研究は、多くの人の支えによって、成し遂げられました。このようなコンモンセンスを身に付けるきっかけを得たのも本研究での貴重な体験です。その上で、二年間、有意義な研究生生活を送れたことを私は誇りに思います。

Appendix A

ボタン押しなしの実験

以下のものを付録として用意した。

- 刺激文
- 脳波波形
- ANOVA Table

刺激文

以下の4条件の刺激文を単語親密度とモーラ数を揃えた上で、作成した。1. と 3. は正文条件であり、2. と 4. は誤文条件である。刺激文は、昇順に配置してある。

1. DN + Iru (動的な名詞 + いる)
2. DN + Aru (動的な名詞 + ある)
3. SN + Aru (静的な名詞 + ある)
4. SN + Iru (静的な名詞 + いる)

脳波波形

実験を行った被験者5名のERP波形の比較結果を示してある。グラフの縦軸は振幅、横軸は時間を示す。縦軸の上がNegativeであり、下がPositiveである。振幅のスケールの最大値は、 $-10\mu V$ であるが、被験者2と被験者3のスケールのみ、 $-15\mu V$ となっているので、グラフの読み取りには注意が必要である。

ANOVA Table

ANOVA の検定対象は、LAN に注目して、Grand average(N=5) の波形において差がありそうな条件のみに絞った。よって、網羅的に全体の解析を行うようなことはせずに、興味ある対象についてのみ検討した。そこで、実際に比較を行った条件は、以下の 2 組である。

- (1) DN+Iru vs (2)* DN+Aru
- (1) DN+Iru vs (4)* SN+Iru

また、解析を行う時間区間は、300-400ms と 400-500ms である。Mauchly の球面性の検定によって有意となり、等分散性の仮定が満たされていない要因については、Greenhouse-Geisser の ϵ を用いて、自由度の調整を行っている。

刺激文

1. ○正文条件： 動的な名詞 + 存在動詞「いる」

Id	刺激文	不適切文
1	愛犬が 背中に いる。	1
2	赤ちゃんが ベッドに いる。	
3	妹が 本屋に いる。	
4	駅員が ホームに いる。	
5	エリートが 政府に いる。	1
6	オーナーが 本社に いる。	
7	弟が 電車に いる。	
8	おふくろが 世間に いる。	3
9	母さんが 神社に いる。	
10	会員が カジノに いる。	
11	科学者が 会議に いる。	
12	学生が 授業に いる。	1
13	カップルが ベンチに いる。	
14	金持ちが 近所に いる。	
15	観客が ライブに いる。	
16	警官が 道路に いる。	
17	警察が 現場に いる。	
18	ゴキブリが タイルに いる。	
19	事務員が 企業に いる。	
20	住民が 海辺に いる。	
21	乗客が 座席に いる。	
22	少年が 深夜に いる。	
23	職人が 酒屋に いる。	
24	知り合いが ボートに いる。	
25	親友が テレビに いる。	4
26	スタッフが 事務所に いる。	
27	政治家が ホテルに いる。	
28	青年が ヨットに いる。	1
29	先生が 母校に いる。	
30	先輩が 支店に いる。	
31	達人が 住居に いる。	
32	旅人が 列車に いる。	1
33	ダンサーが 広場に いる。	
34	男性が サウナに いる。	
35	父親が 会社に いる。	
36	長男が 下宿に いる。	2
37	店員が 近くに いる。	
38	天才が 仲間に いる。	1
39	父さんが 和室に いる。	
40	動物が 向こうに いる。	
41	ドクターが 内科に いる。	1
42	友達が 歩道に いる。	
43	泥棒が 二階に いる。	
44	仲良しが 故郷に いる。	
45	兄さんが 個室に いる。	
46	姉さんが 都会に いる。	
47	農民が 地方に いる。	
48	俳優が ドラマに いる。	4
49	花嫁が 挙式に いる。	1
50	フクロウが 林に いる。	
51	ベテランが 組織に いる。	
52	弁護士が 都内に いる。	
53	マスコミが 取材に いる。	3
54	メンバーが ドームに いる。	
55	友人が 市内に いる。	
56	ライバルが 試合に いる。	2
57	リーダーが ホールに いる。	
58	両親が 旅館に いる。	
59	老人が 家庭に いる。	
60	若者が 通りに いる。	

2. ×誤文条件： 動的な名詞 + 存在動詞「ある」

Id	刺激文	不適切文
1	愛犬が 背中に ある。	
2	赤ちゃんが ベッドに ある。	
3	妹が 本屋に ある。	
4	駅員が ホームに ある。	
5	エリートが 政府に ある。	
6	オーナーが 本社に ある。	
7	弟が 電車に ある。	
8	おふくろが 世間に ある。	1
9	母さんが 神社に ある。	
10	会員が カジノに ある。	
11	科学者が 会議に ある。	
12	学生が 授業に ある。	
13	カップルが ベンチに ある。	
14	金持ちが 近所に ある。	
15	観客が ライブに ある。	
16	警官が 道路に ある。	
17	警察が 現場に ある。	1
18	ゴキブリが タイルに ある。	
19	事務員が 企業に ある。	
20	住民が 海辺に ある。	
21	乗客が 座席に ある。	
22	少年が 深夜に ある。	
23	職人が 酒屋に ある。	
24	知り合いが ボートに ある。	
25	親友が テレビに ある。	
26	スタッフが 事務所に ある。	
27	政治家が ホテルに ある。	
28	青年が ヨットに ある。	
29	先生が 母校に ある。	
30	先輩が 支店に ある。	
31	達人が 住居に ある。	
32	旅人が 列車に ある。	
33	ダンサーが 広場に ある。	
34	男性が サウナに ある。	
35	父親が 会社に ある。	
36	長男が 下宿に ある。	
37	店員が 近くに ある。	
38	天才が 仲間に ある。	1
39	父さんが 和室に ある。	
40	動物が 向こうに ある。	
41	ドクターが 内科に ある。	
42	友達が 歩道に ある。	
43	泥棒が 二階に ある。	
44	仲良しが 故郷に ある。	
45	兄さんが 個室に ある。	
46	姉さんが 都会に ある。	
47	農民が 地方に ある。	
48	俳優が ドラマに ある。	
49	花嫁が 挙式に ある。	
50	フクロウが 林に ある。	
51	ベテランが 組織に ある。	1
52	弁護士が 都内に ある。	
53	マスコミが 取材に ある。	2
54	メンバーが ドームに ある。	
55	友人が 市内に ある。	
56	ライバルが 試合に ある。	
57	リーダーが ホールに ある。	
58	両親が 旅館に ある。	
59	老人が 家庭に ある。	
60	若者が 通りに ある。	

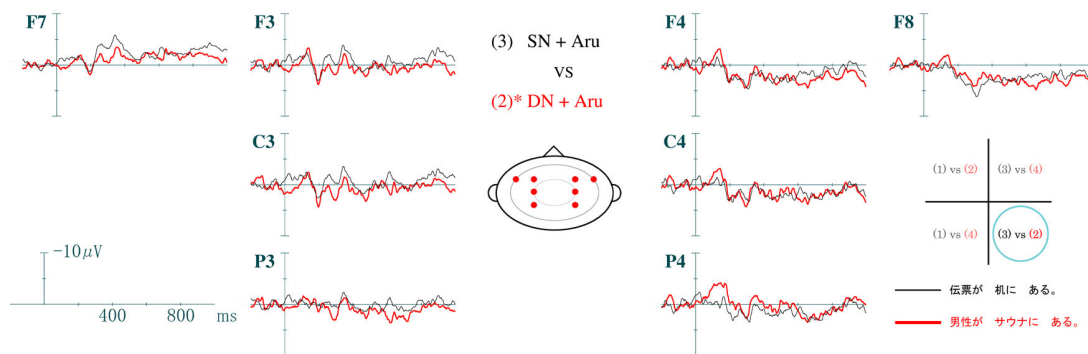
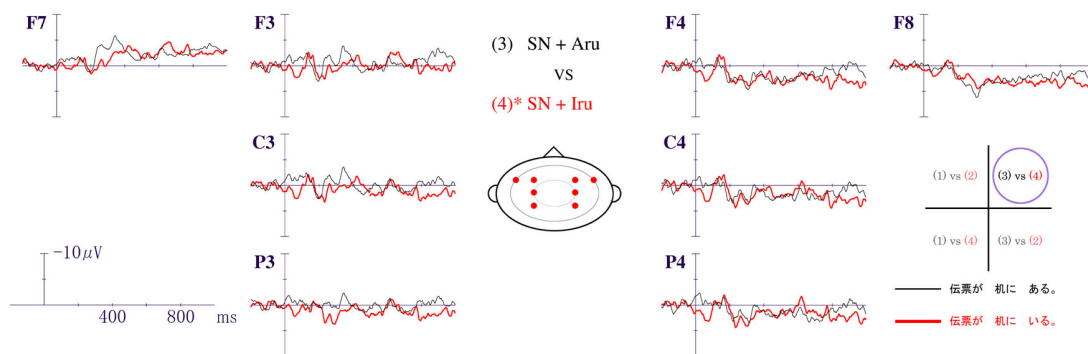
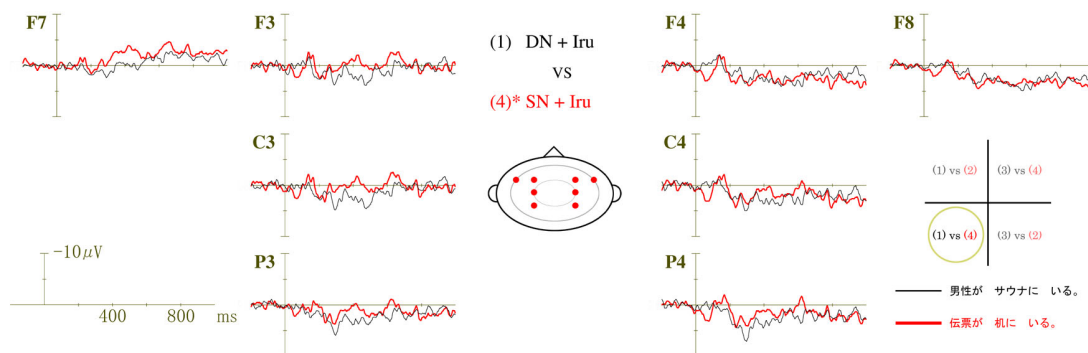
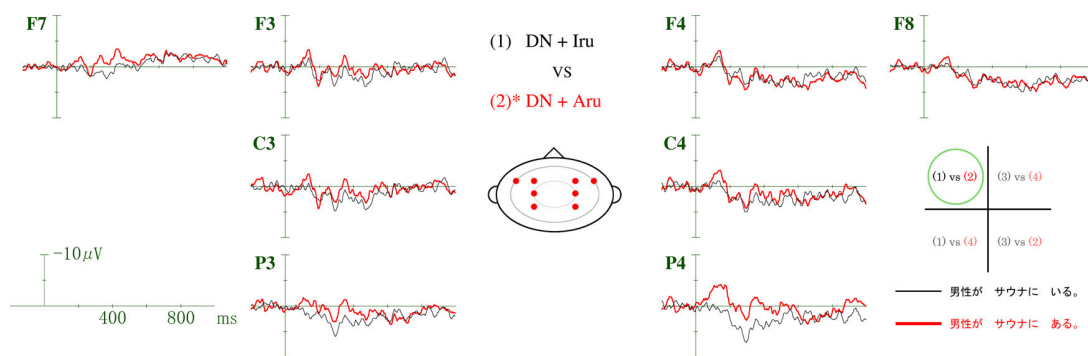
3. ○正文条件： 静的な名詞 + 存在動詞「ある」

Id	刺激文	不適切文
1	アパートが あっちに ある。	1
2	アルバムが 自宅に ある。	
3	アンテナが ラジオに ある。	
4	ウィスキーが ボトルに ある。	
5	オアシスが 砂漠に ある。	
6	お祭りが 各地に ある。	
7	オルガンが 売り場に ある。	
8	カステラが 食器に ある。	
9	ガソリンが 車に ある。	
10	学校が 南に ある。	
11	かまぼこが おせちに ある。	1
12	髪の毛が 頭に ある。	
13	広告が 雑誌に ある。	
14	交番が 東に ある。	
15	こんにゃくが おでんに ある。	
16	サファイアが 指輪に ある。	
17	ざるそばが ランチに ある。	
18	サンダルが 荷物に ある。	
19	しいたけが 田舎に ある。	
20	ジーパンが お店に ある。	
21	品物が ロビーに ある。	1
22	じゃがいもが サラダに ある。	
23	シャンプーが 風呂場に ある。	
24	重力が 地球に ある。	
25	賞金が 金庫に ある。	
26	食堂が 施設に ある。	
27	食料が テントに ある。	
28	食券が 財布に ある。	
29	数学が 課題に ある。	
30	スタジオが 遠くに ある。	
31	スリッパが 便所に ある。	1
32	そろばんが 畳に ある。	
33	大学が 地域に ある。	
34	大根が 畑に ある。	
35	タイトルが 表紙に ある。	
36	たんぼぼが 地面に ある。	
37	伝票が 机に ある。	
38	売店が ビーチに ある。	
39	花束が バケツに ある。	
40	ハンカチが ズボンに ある。	
41	ピーマンが ハウスに ある。	1
42	ひまわりが 周囲に ある。	
43	ボーナスが 口座に ある。	
44	ポスターが 書店に ある。	
45	まつたけが 市場に ある。	
46	ラーメンが 夜食に ある。	
47	ラケットが コートに ある。	
48	レコードが クラブに ある。	
49	レポートが バッグに ある。	
50	ろうそくが ランプに ある。	
51	ワープロが 職場に ある。	1
52	絵ハガキが 見本に ある。	
53	看板が 通路に ある。	
54	牛乳が コップに ある。	
55	香水が 車に ある。	
56	新聞が ポストに ある。	
57	生ゴミが 袋に ある。	
58	長ネギが 八百屋に ある。	
59	日本酒が 飲み屋に ある。	
60	目薬が 眼科に ある。	

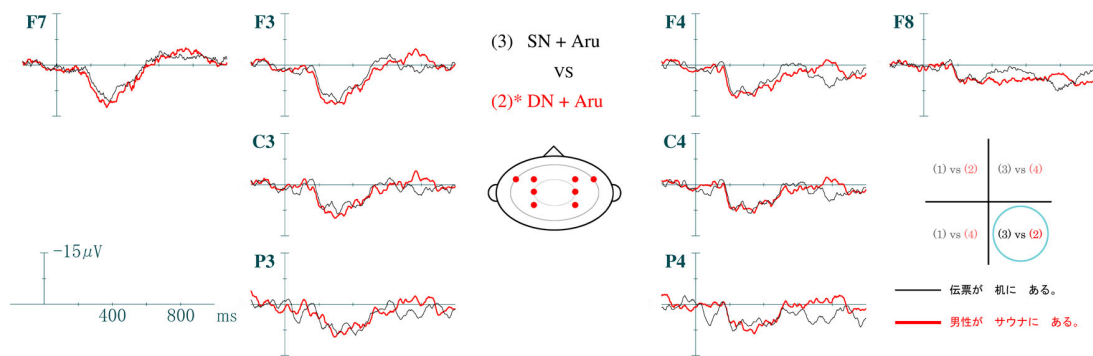
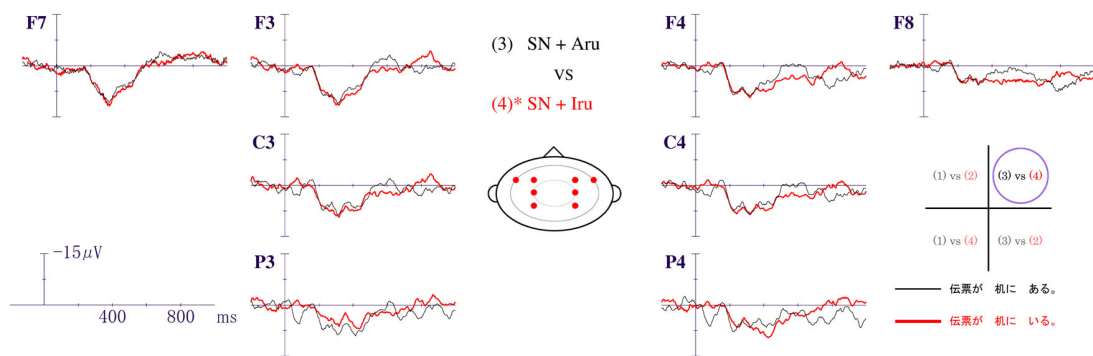
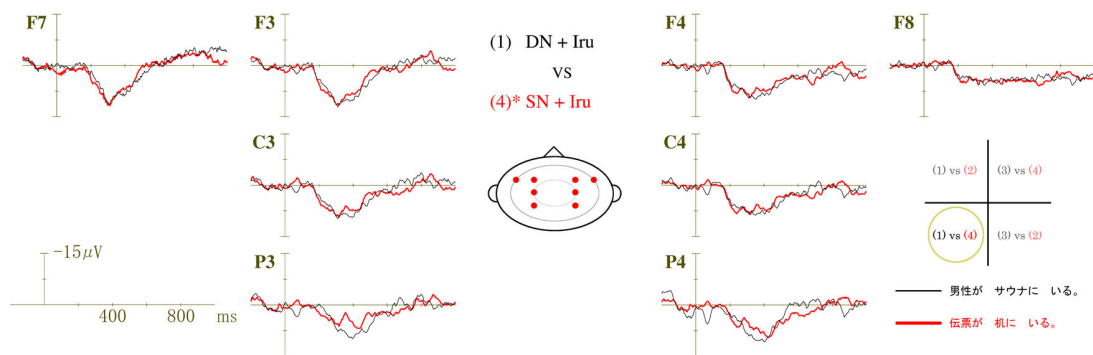
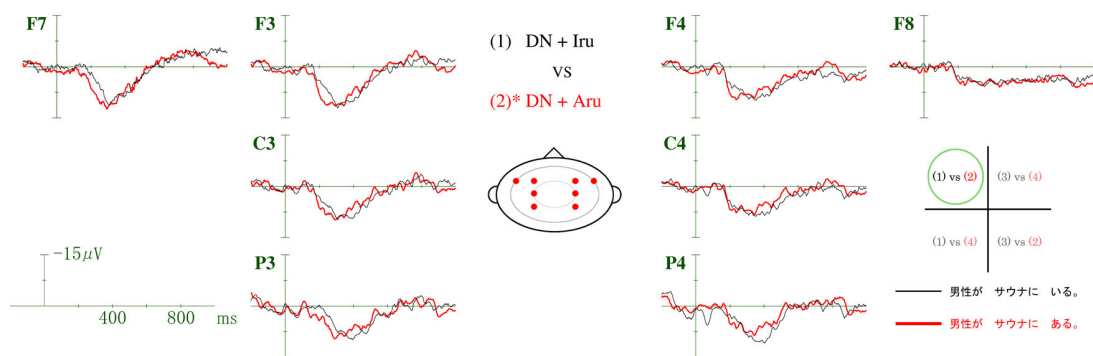
4. ×誤文条件： 静的な名詞 + 存在動詞「いる」

Id	刺激文	不適切文
1	アパートが あっちに いる。	
2	アルバムが 自宅に いる。	
3	アンテナが ラジオに いる。	
4	ウィスキーが ボトルに いる。	
5	オアシスが 砂漠に いる。	
6	お祭りが 各地に いる。	
7	オルガンが 売り場に いる。	
8	カステラが 食器に いる。	
9	ガソリンが 車に いる。	
10	学校が 南に いる。	
11	かまぼこが おせちに いる。	
12	髪の毛が 頭に いる。	
13	広告が 雑誌に いる。	
14	交番が 東に いる。	
15	こんにゃくが おでんに いる。	
16	サファイアが 指輪に いる。	
17	ざるそばが ランチに いる。	
18	サンダルが 荷物に いる。	
19	しいたけが 田舎に いる。	
20	ジーパンが お店に いる。	
21	品物が ロビーに いる。	
22	じゃがいもが サラダに いる。	
23	シャンプーが 風呂場に いる。	
24	重力が 地球に いる。	
25	賞金が 金庫に いる。	
26	食堂が 施設に いる。	
27	食料が テントに いる。	
28	食券が 財布に いる。	
29	数学が 課題に いる。	
30	スタジオが 遠くに いる。	
31	スリッパが 便所に いる。	
32	そろばんが 畳に いる。	
33	大学が 地域に いる。	
34	大根が 畑に いる。	
35	タイトルが 表紙に いる。	
36	たんぼぼが 地面に いる。	
37	伝票が 机に いる。	
38	売店が ビーチに いる。	
39	花束が バケツに いる。	
40	ハンカチが ズボンに いる。	
41	ピーマンが ハウスに いる。	
42	ひまわりが 周囲に いる。	
43	ボーナスが 口座に いる。	
44	ポスターが 書店に いる。	
45	まつたけが 市場に いる。	
46	ラーメンが 夜食に いる。	
47	ラケットが コートに いる。	
48	レコードが クラブに いる。	
49	レポートが バッグに いる。	
50	ろうそくが ランプに いる。	
51	ワープロが 職場に いる。	
52	絵ハガキが 見本に いる。	
53	看板が 通路に いる。	
54	牛乳が コップに いる。	
55	香水が 車に いる。	
56	新聞が ポストに いる。	
57	生ゴミが 袋に いる。	
58	長ネギが 八百屋に いる。	
59	日本酒が 飲み屋に いる。	
60	目薬が 眼科に いる。	

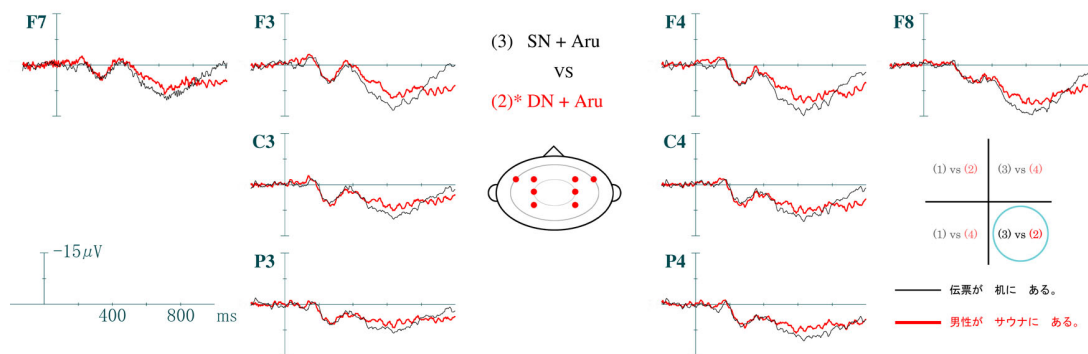
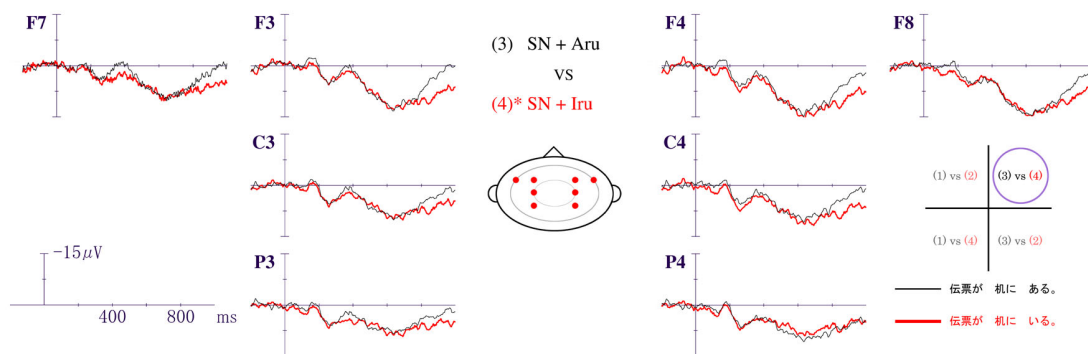
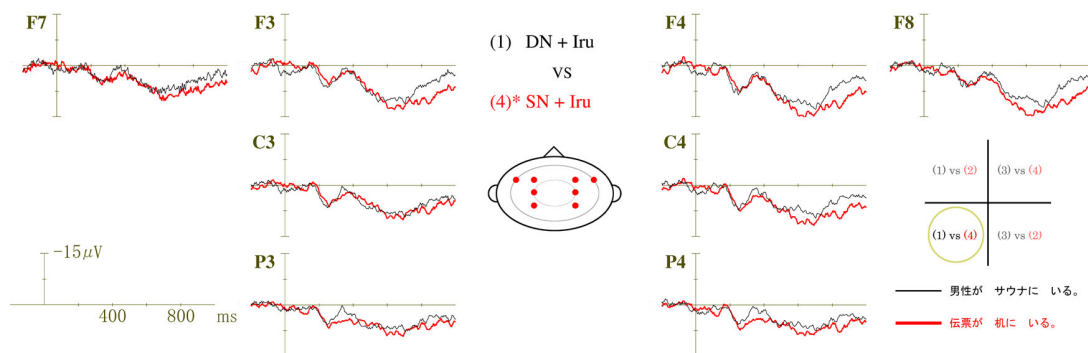
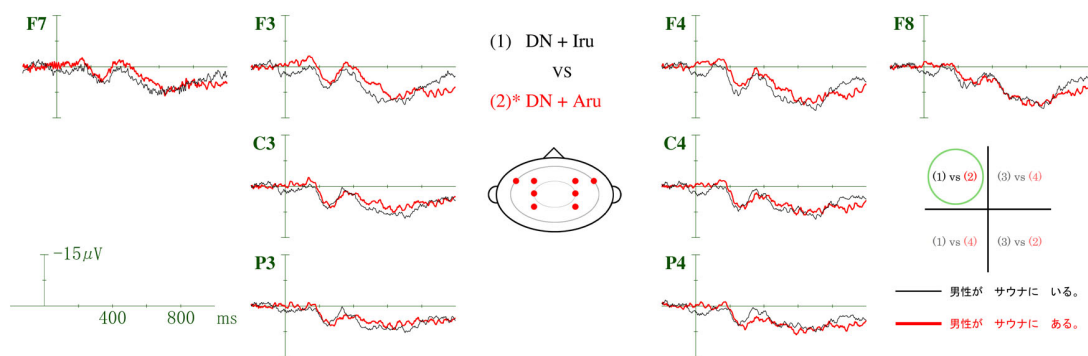
被験者 1



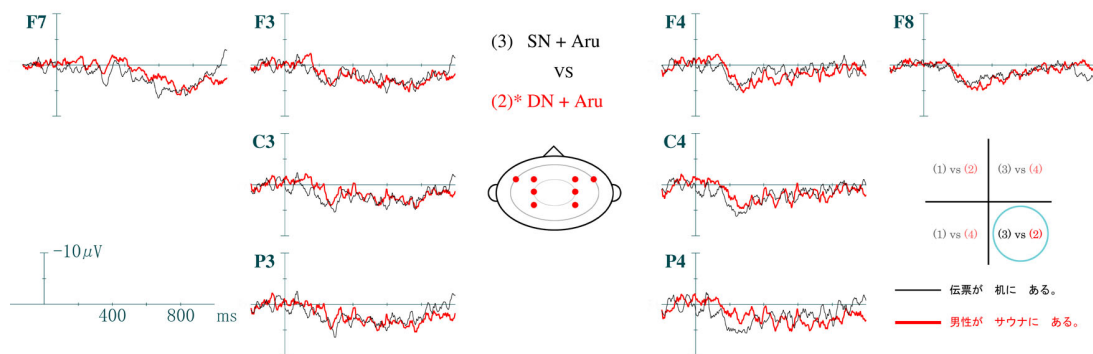
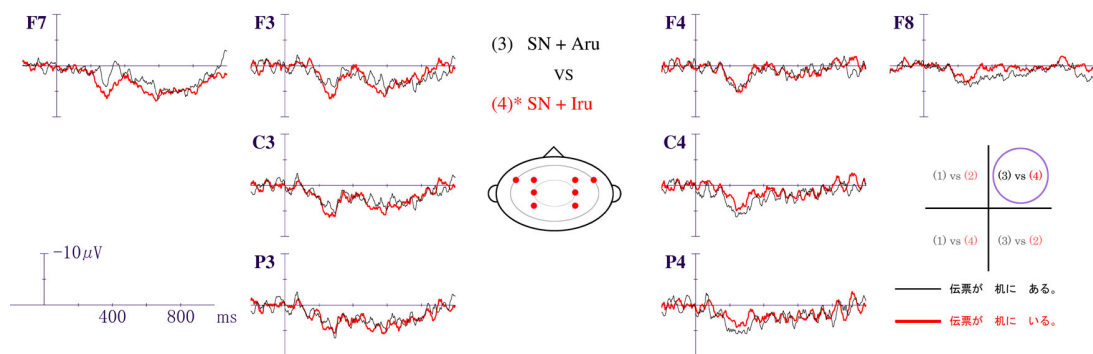
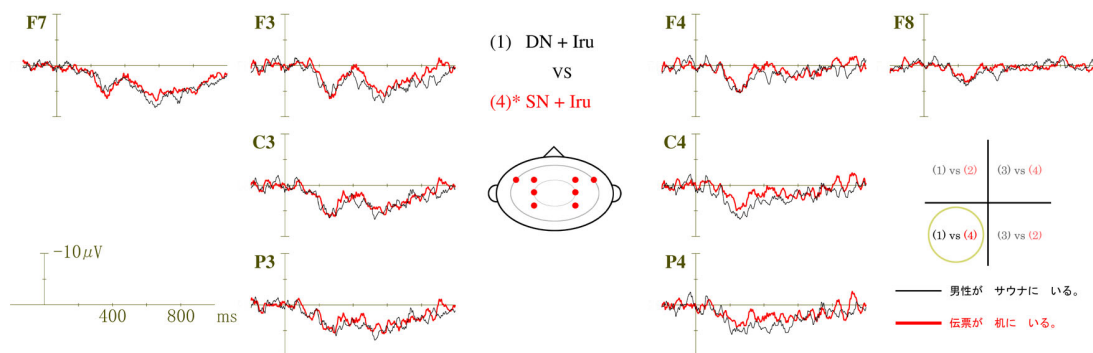
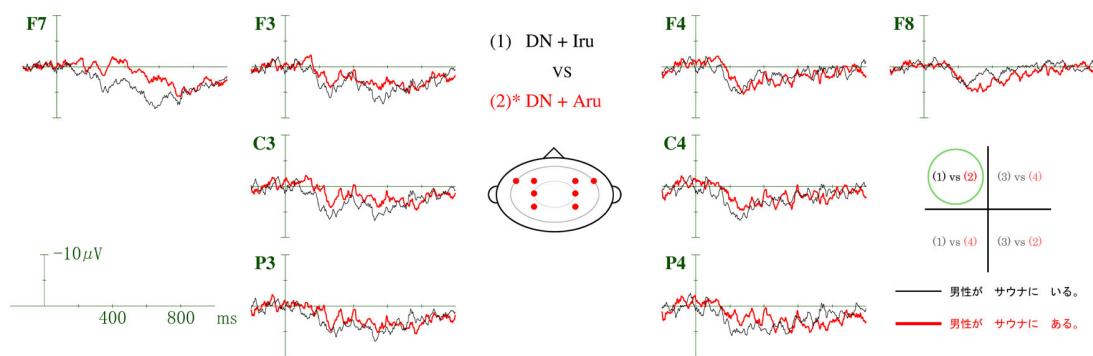
被験者 2



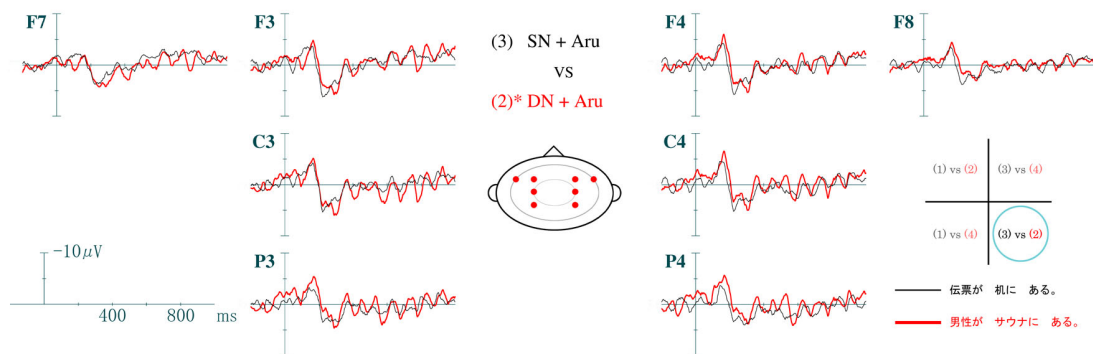
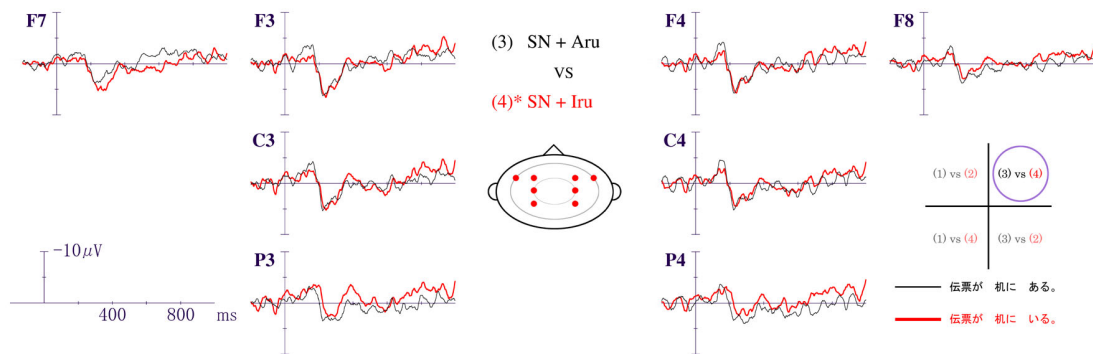
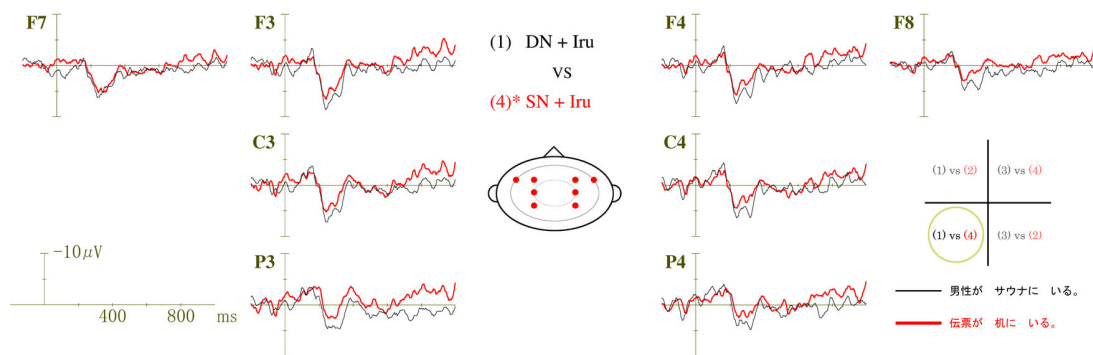
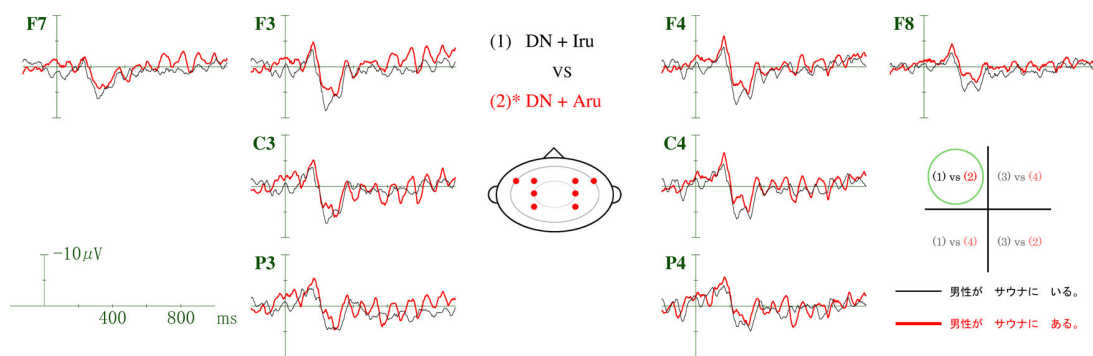
被験者 3



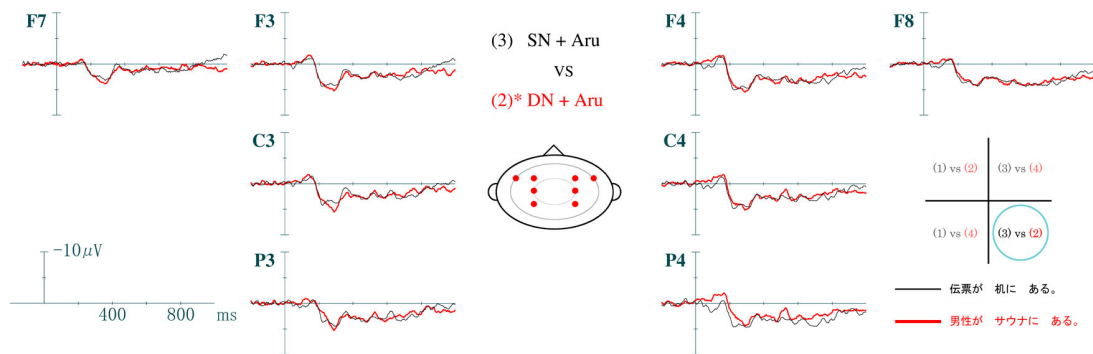
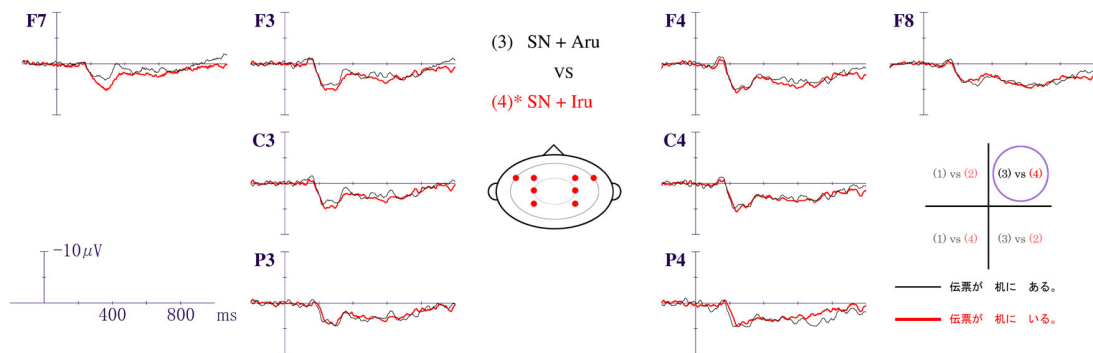
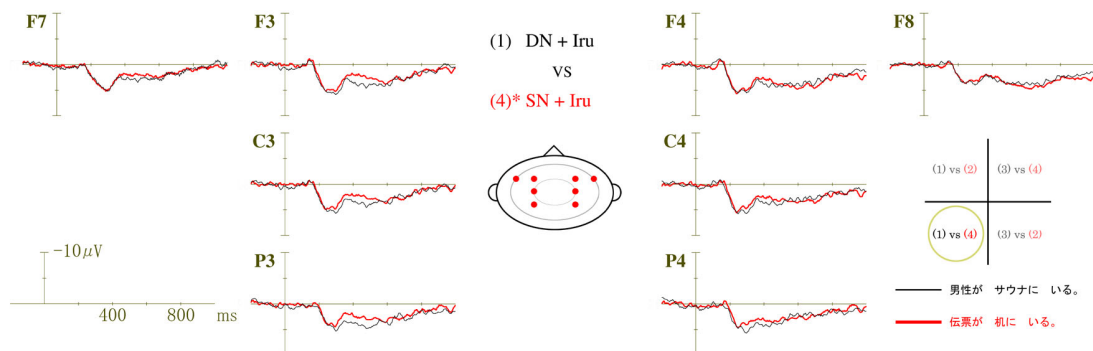
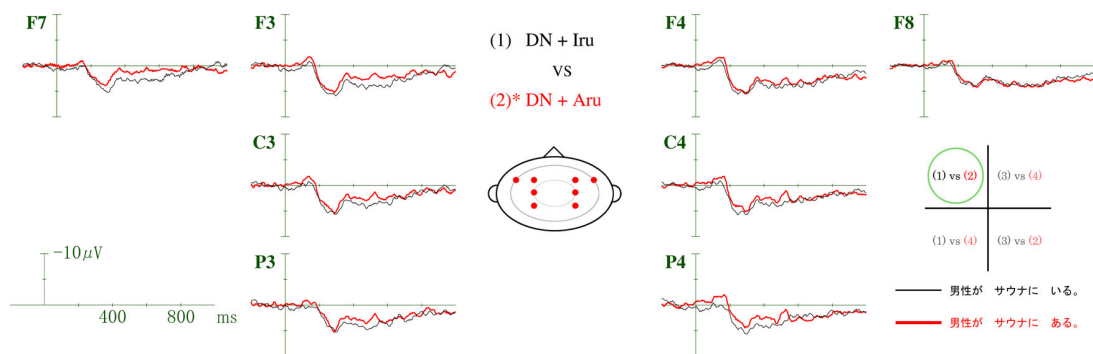
被験者 4



被験者 5



全体 (N=5)



ANOVA Table

表 7.1: [ANOVA Table] 時間窓の平均 (300ms - 400ms) ; 条件 (1 vs 2)

	平方和 (Type III)	自由度	平均平方	F 値	有意確率 (P 値)
自由度の調整前 (球面性の仮定)					
条件 (1 vs 2)	8.795	1	8.795	7.067	.056
誤差	4.978	4	1.245		
エリア	2.540	3	.847	.390	.76
誤差	26.078	12	2.173		
(条件 × エリア)	2.886	3	.962	1.022	.42
誤差	11.292	12	.941		
自由度の調整後 (Greenhouse-Geisser)					
エリア	2.540	1.1324	2.243	.390	.59
誤差	26.078	4.529	5.757		
$\epsilon = .377$					

表 7.2: [ANOVA Table] 時間窓の平均 (300ms - 400ms) ; 条件 (1 vs 4)

	平方和 (Type III)	自由度	平均平方	F 値	有意確率 (P 値)
(球面性の仮定)					
条件 (1 vs 4)	7.016	1	7.016	1.960	.23
誤差	14.319	4	3.580		
エリア	1.412	3	.471	.190	.90
誤差	29.689	12	2.474		
(条件 × エリア)	1.015	3	.338	.854	.49
誤差	4.750	12	.396		

表 7.3: [ANOVA Table] 時間窓の平均 (400ms - 500ms) ; 条件 (1 vs 2)

	平方和 (Type III)	自由度	平均平方	F 値	有意確率 (P 値)
(球面性の仮定)					
条件 (1 vs 2)*	10.966	1	10.966	30.231	.0053
誤差	1.451	4	.363		
エリア	4.322	3	1.441	1.758	.21
誤差	9.836	12	.820		
(条件 × エリア)	1.983	3	.661	1.597	.24
誤差	4.965	12	.414		

表 7.4: [ANOVA Table] 時間窓の平均 (400ms - 500ms) ; 条件 (1 vs 4)

	平方和 (Type III)	自由度	平均平方	F 値	有意確率 (P 値)
(球面性の仮定)					
条件 (1 vs 4)	10.068	1	10.068	6.705	.061
誤差	6.007	4	1.502		
エリア	3.253	3	1.084	.567	.65
誤差	22.943	12	1.912		
(条件 × エリア)	1.612	3	.537	2.232	.14
誤差	2.890	12	.241		

Appendix B

ボタン押しありの実験

以下のものを付録として用意した。

■ 実験前後の調査と実験同意書

- ◇ インフォームド・コンセント
- ◇ エディンバラ・利き手テスト
- ◇ 刺激文の適切さに関するアンケート

インフォームド・コンセント

被験者には、実験前に実験の内容説明を十分にした後、自分の意思で同意書に署名してもらった。

エディンバラ・利き手テスト

エディンバラ・利き手テストの日本語フォームについては、中里氏の URL にあるものを利用させて頂いた [4]。ここに感謝の意を表する。

アンケート

今回の実験では、事前に妥当な刺激文が作成できるように単語の親密度やモーラ数を揃えるという制約のもとで、入念な作業を行った。しかし、誰もが納得するような客観的な刺激文のセットを作成できるという保証はない。むしろ、作成者は、作成した刺激文のセットに多くの不備な点があることを予め自覚しているべきである。そこで、今回この点を補うために、実験の終了後に、被験者全員に対して、刺激文の適切さを判定するアンケートを実施した。不適切な文とは、以下の 2 種類があると考えられる。

- 正文条件であるにもかかわらず、解釈に困る場合
- 誤文条件であるにもかかわらず、十分解釈が可能な場合

被験者には、全ての刺激文 (240 文) について、これらの不適切文が含まれている場合を、できるだけ厳しく判定してもらった。なお、アンケート中の刺激文の並び方は、実際の実験で提示される順番通りになっている。被験者が、アンケートで不適切であると判定した文の試行については、被験者ごとに解析データから除いた。

■ 刺激文とそのパフォーマンス

◇ アンケート適正率とボタン押し正答率

◇ リアクション・タイム (RT)

以下の 4 条件全ての刺激文とそれに関連するパフォーマンスの分析結果を公開する。

1. DN + Iru (動的な名詞 + いる)
2. DN + Aru (動的な名詞 + ある)
3. SN + Aru (静的な名詞 + ある)
4. SN + Iru (静的な名詞 + いる)

アンケートの不適切文の数とボタン押しによる誤答数は、それぞれ主観的な報告と客観的な結果を示している。両者には何らかの相関関係があると考えられる。また、同様に、それらとリアクション・タイムの間にも相関関係があると考えられる。

アンケート適正率とボタン押し正答率

アンケート適正率とボタン押し正答率のグラフは、実験に参加した全被験者 21 名分のデータの平均値によって、作成してある。刺激文の並び方は、昇順に配置してある。

リアクション・タイム (RT)

リアクション・タイムの結果を示すグラフは、実験の途中で、ボタンを押さずに、眠ってしまった 1 名の被験者を除く、20 名分のデータの平均値によって作成してある。横のバーは、95 % の信頼区間を示してあり、データのばらつきに伴って大きくなる。刺激文の並び方は、実験において提示した順番通りに配置してある。RT は、全体的に実験の後半になるにつれて、やや早くなる傾向があることが分かる。

パフォーマンスの分析結果

刺激文のパフォーマンスの分析結果から、具体的な例を挙げて考察する。

「事務員が 受話器に いる。」は、レトリカルな表現 (メトニミー¹) を含んでいる。よって、より口語的で文脈依存性が高い表現であると考えられ、読み手が強く違和感を感じたと予想できる。グラフの結果は、アンケートの不適切文の数とボタン押しによる誤答数および、リアクションタイム全てで最悪となっている。

「警察が 近くに いる。」は、「警察署」と「警察官」の2通りの解釈が可能なために、動的な名詞か、静的な名詞かの推論の選択で迷いが生じたと考えられる。アンケートの不適切文の数とボタン押しによる誤答数が飛び抜けて多いのは、そのためである。

「ろうそくが ランプに ある。」は、存在を意味する場合は「ある」が適切だが、必要を意味する場合は「いる (要る)」となる。実験後に被験者から聞いた内省報告によると、「いる」が提示された場合、必要の意味と区別がつかなかったという意見が多かった。実際に、リアクション・タイムの結果は、それを反映している。よって、被験者が必要の「いる」の意味を適用して読んだ文がこの例文以外にもあると考えられる。つまり、「ある」でも「いる」でも両義的に意味を解釈できるような静的な名詞は、刺激文の主語に用いるべきではなかったといえる。

また、内省報告によると、被験者の出身地方の方言によっては、「ある」と「いる」を文脈によって両方用いる場合があったり、逆にする場合があることが分かった。このようなことから、言語刺激の作成者は、言語現象には予測の範囲を超えた統制の厳しさが、存在することを十分自覚している必要がある。

■ 脳波波形

- ◇ ERP 波形 (1回目)
- ◇ 時系列方向の t 検定 (2回目)
- ◇ 時系列トライアル方向の t 検定 (2回目)

今回、脳波の解析は、同じデータに対して、2回行った。1回目は、300-400ms と 600-700ms の時間区間に対して、統計的な検定をかけるために行った。2回目は、時系列 t 検定と時系列トライアル t 検定によって、新たに分析するために行った。

¹受話器のある場所を表すのに、受話器そのものでその意味を代替している。ここで用いられているメトニミーは、空間的な隣接関係によるものである。

今回の解析では、加算平均波形の比較上、アーチファクトおよび不適切文、誤答文の除去を行った後に、任意に 40 試行まで減らして調整する方法をとっている。その結果、刺激の調整方法が 1 回目と 2 回目で多少異なるために、波形にも差が生じた。この点に、恣意的な要因が入っていることは否定できない。しかし、致命的な差が生じている訳でないことは、グラフにおいて、実際に両者の波形を比較することで確認できる。なお、今回解析の対象になった被験者は、以下の 11 名である²。



図 7.2: 解析を行った被験者

1 名の被験者につき、統計解析に用いた ERP 波形、および 2 回目の時系列 t 検定と時系列トリアル t 検定の結果のグラフを作成した。それぞれのグラフには、4 条件が含まれており、さらに条件ごとに 8 電極の結果を含んでいる。2 回目の解析の詳細については、(MATLAB Source code; p.149) を参照すること。なお、1 回目の各グラフの振幅スケールの最大値は、被験者ごとに異なっているので、読み取りの際には注意する必要がある。

■ 統計解析

- ◇ 全体の検定 (ANOVA Table)
- ◇ Mauchly の球面性検定
- ◇ 下位検定 (ANOVA Table)
- ◇ 多重比較

今回の解析の対象となる時間区間には、300-400ms と 600-700ms の 2 つを選んだ。各時間区間は、平均値³を用いて解析を行っている。全体の検定では、全ての条件で等分散性の仮定が満たされていないものとして、Greenhouse-Geisser の ϵ を用いて、自由度の調整を行った。下位検定では、Mauchly の球面性の検定を行い、有意水準 $p < 0.05$ において、有意となったものについてのみ⁴、自由度の調整を行った。多重比較は、同時に比較を行う 4 条件において、Bonferroni の方法を用いて調整を行った⁵。

²解析の制限条件によって不適切であると判定された被験者は、分析対象から除いた。その結果、実験を行った 21 名から 11 名に減少した。

³サンプリング周波数は 1kHz なので、100ms の時間区間には、100 ポイントのデータが含まれている。

⁴Mauchly の球面性の検定結果で有意となった場合、等分散性の仮定を満たしていないことを意味する。

⁵Bonferroni の方法は、有意水準を同時に比較する条件の数で割ることによって、厳しい検定を行っている。例えば今回の解析では、有意水準 $p < 0.05$ で有意となるためには、 $p < 0.05/4 = 0.0125$ を満たす必要がある。

インフォームド・コンセント

脳波&脳磁図(MEG)の実験協力をお願い

私は、修士論文において、脳波と脳磁図(MEG)の実験を通じて、言語に対する人間の脳の働きについて研究しています。

今回の実験では、脳波と脳磁図を同時に測定します。あなたには、モニターの画面に映る、短い文章を読んで頂きます。文章が出てきたら読み終わった後で、その文章が文法的に正しいか間違っているかをボタン押しで判断して頂きます。

実験を行なう前には、脳波測定のために、頭皮上に数カ所、皿電極を取り付けます。皿電極と頭皮の間には、脳波を効率よく測定するために、のりのようなペーストを塗らして頂きます。多少、髪の毛が汚れますが、頭を洗えば直ぐに落ちますし、ペーストの成分は、人体に無害なものです。電極は、頭皮上に現れる脳の自発的なシグナルを測定するためのもので、電流が逆に流れるということはありません。

電極を取り付けた後は、脳磁図を測定するための MEG 装置に入って頂きます。脳磁図とは、脳波と同様に脳から自発的に発生している微弱な磁場のことです。この磁場は、地磁気よりもはるかに微小なため、通常環境では計測できません。そのため、この装置は、環境磁場を遮断する部屋、シールドルームの中にあります。シールドルームに入室する際には、脳の磁場を測定する高感度センサーにダメージを与えないために、体には金属類を身につけることは出来ません。メガネ、イヤリング、ネックレス、携帯電話、腕時計、ベルト、財布の類は、取り外して入室して頂きます。そこで、目の悪い方は、コンタクトレンズを身に付けて実験に参加して頂けるようお願いいたします。また、強力な磁場を発生させて、脳内の血流代謝を測定する fMRI 装置とは異なり、MEG 装置は、全く磁場を発生させないため、人体に危害を与えることはありません。

研究の成果は、学会や専門の雑誌などに発表することがありますが、その際、あなた個人を特定できるような情報あるいは実名を出すことは一切ありません。

実験の協力は、あくまであなた個人の意志ですることですので、たとえ実験中であっても実験を中断したい場合や、自分の実験結果を使用されたくないと思った場合はそのように申し出てください。実験にご協力頂けるのであれば、以下にご署名下さい。

知識科学研究科 藤波研究室 修士2年 能村 幸太郎

実験同意書

「私は本実験について十分説明を受け、内容を理解した上で自分の自由意志の原則に基づき、実験に協力することを同意します。」

年 月 日

氏名

エディンバラ・利き手テスト

EDINBURGH HANDEDNESS INVENTORY

Neuropsychologia 9;97-113,1971

検査年月日: 年 月 日

名前:

生年月日: 年 月 日

性別 男・女

身長: cm

体重: kg

	左手	右手
1. 字を書くときどちらの手を使いますか？		
2. 絵を描くときどちらの手を使いますか？		
3. ボールはどちらの手で投げますか？		
4. はさみはどちらの手に持って使いますか？		
5. 歯ブラシはどちらの手に持って使いますか？		
6. 果物の皮をむくときナイフはどちらの手に持ちますか？		
7. スプーンはどちらの手に持って使いますか？		
8. ほうきを使うときどちらの手が上になりますか？		
9. マッチをするときマッチ棒はどちらの手に持ちますか？		
10. 箱のふたはどちらの手であけますか？		
(7. 箸はどちらの手に持って使いますか？)		
(8. ひげ剃り・口紅はどちらの手に持って使いますか？)		

備考: 左右どちらかの手だけを使用 ++ それ以外は該当するところに +

$$L.Q. = ((R-L)/(R+L)) \times 100 =$$

利き手矯正歴: ある ・ ない

血縁に左利きがいるか: いる ・ いない

小児期に脳疾患があったか: ある ・ ない

実験後のアンケート

存在動詞「ある」と「いる」のBinding 実験 【刺激文の適切性アンケート調査】 2005年1月16日作成

氏名: _____ さん 実験にご協力頂き、ありがとうございました。

e-mail: _____

利き手判定: 右手・両手・左手

生年月日: / /

最後に、お手数ですが、今回使用した刺激文の理解度を自己申告して頂きます。
実験中に提示された刺激文に対して、条件毎に以下のチェックを行って下さい。

- 正文条件: 正文だが、文章として刺激文の意味が不適切だと思った文には、口欄に **×** を付けて下さい。
● 非文条件: 非文だが、文章として刺激文の意味が成立できると思った文には、口欄に **△** を付けて下さい。

チェックを付けた文は、実験の解析データとして採用されません。
厳しく評価して頂いた方が、結果を正確にフィードバックできますので、
できるだけ **手加減をせず** に評価して下さい。よろしくお願いします。

○ 正文条件: 動的な名詞 + 存在動詞「いる」

● 非文条件: 動的な名詞 + 存在動詞「ある」

一般名詞(モーラ4) 一般名詞(モーラ3)
親密度(6.0-7.0) 親密度(6.0-7.0)

評価欄	おじいさんが	こたつに	いる。
(1) ☐	兄ちゃんが	海辺に	いる。
(2) ☐	キャプテンが	試合に	いる。
(3) ☐	カップルが	ベンチに	いる。
(4) ☐	少年が	深夜に	いる。
(5) ☐	友人が	市内に	いる。
(6) ☐	科学者が	会議に	いる。
(7) ☐	妹が	ロビーに	いる。
(8) ☐	警察が	近くに	いる。
(9) ☐	親友が	下宿に	いる。
(10) ☐	リーダーが	ホールに	いる。
(11) ☐	マスコミが	現場に	いる。
(12) ☐	両親が	旅館に	いる。
(13) ☐	親客が	ライブに	いる。
(14) ☐	達人が	住居に	いる。
(15) ☐	先生が	母校に	いる。
(16) ☐	仲良しが	故郷に	いる。
(17) ☐	駅員が	ホームに	いる。
(18) ☐	住民が	暮らしに	いる。
(19) ☐	強敵が	レースに	いる。
(20) ☐	エリートが	企業に	いる。
(21) ☐	おふくろが	田舎に	いる。
(22) ☐	オーナーが	本社に	いる。
(23) ☐	弟が	電車に	いる。
(24) ☐	ライバルが	向こうに	いる。
(25) ☐	俳優が	ヨットに	いる。
(26) ☐	天才が	職場に	いる。
(27) ☐	農民が	地方に	いる。
(28) ☐	メンバーが	ドームに	いる。
(29) ☐	男性が	サウナに	いる。
(30) ☐	スタッフが	事務所に	いる。
(31) ☐	赤ちゃんが	ベッドに	いる。
(32) ☐	乗客が	座席に	いる。
(33) ☐	青年が	テントに	いる。
(34) ☐	職人が	酒屋に	いる。
(35) ☐	政治家が	ホテルに	いる。
(36) ☐	父さんが	和室に	いる。
(37) ☐	母さんが	神社に	いる。
(38) ☐	警官が	道路に	いる。
(39) ☐	若者が	通りに	いる。
(40) ☐	姉さんが	都会に	いる。
(41) ☐	事務員が	受話器に	いる。
(42) ☐	母親が	八百屋に	いる。
(43) ☐	旅人が	ローマに	いる。
(44) ☐	看護婦が	内科に	いる。
(45) ☐	友達が	歩道に	いる。
(46) ☐	泥棒が	二階に	いる。
(47) ☐	長男が	実家に	いる。
(48) ☐	知り合いが	アパートに	いる。
(49) ☐	ダンサーが	広場に	いる。
(50) ☐	兄さんが	個室に	いる。
(51) ☐	父親が	会社に	いる。
(52) ☐	ベテランが	組織に	いる。
(53) ☐	学生が	本屋に	いる。
(54) ☐	恋人が	クラブに	いる。
(55) ☐	金持ちが	近所に	いる。
(56) ☐	先輩が	支店に	いる。
(57) ☐	会員が	カジノに	いる。
(58) ☐	店員が	売り場に	いる。
(59) ☐	老人が	家庭に	いる。
(60) ☐	弁護士が	都内に	いる。

×の数: /60

一般名詞(モーラ4) 一般名詞(モーラ3)
親密度(6.0-7.0) 親密度(6.0-7.0)

評価欄	知り合いが	ボードに	ある。
(1) ☐	青年が	テントに	ある。
(2) ☐	母さんが	神社に	ある。
(3) ☐	看護婦が	内科に	ある。
(4) ☐	職人が	酒屋に	ある。
(5) ☐	泥棒が	二階に	ある。
(6) ☐	警官が	道路に	ある。
(7) ☐	学生が	本屋に	ある。
(8) ☐	政治家が	ホテルに	ある。
(9) ☐	先輩が	支店に	ある。
(10) ☐	友達が	歩道に	ある。
(11) ☐	若者が	通りに	ある。
(12) ☐	母親が	八百屋に	ある。
(13) ☐	会員が	カジノに	ある。
(14) ☐	父さんが	和室に	ある。
(15) ☐	兄さんが	個室に	ある。
(16) ☐	ダンサーが	広場に	ある。
(17) ☐	赤ちゃんが	ベッドに	ある。
(18) ☐	金持ちが	近所に	ある。
(19) ☐	旅人が	ローマに	ある。
(20) ☐	乗客が	座席に	ある。
(21) ☐	父親が	会社に	ある。
(22) ☐	店員が	売り場に	ある。
(23) ☐	恋人が	クラブに	ある。
(24) ☐	長男が	実家に	ある。
(25) ☐	事務員が	受話器に	ある。
(26) ☐	天才が	職場に	ある。
(27) ☐	農民が	都内に	ある。
(28) ☐	姉さんが	都会に	ある。
(29) ☐	ベテランが	組織に	ある。
(30) ☐	老人が	家庭に	ある。
(31) ☐	カップルが	ベンチに	ある。
(32) ☐	俳優が	ヨットに	ある。
(33) ☐	農民が	地方に	ある。
(34) ☐	科学者が	会議に	ある。
(35) ☐	ライバルが	向こうに	ある。
(36) ☐	天才が	職場に	ある。
(37) ☐	両親が	旅館に	ある。
(38) ☐	親客が	ライブに	ある。
(39) ☐	スタッフが	事務所に	ある。
(40) ☐	エリートが	企業に	ある。
(41) ☐	リーダーが	ホールに	ある。
(42) ☐	強敵が	レースに	ある。
(43) ☐	男性が	サウナに	ある。
(44) ☐	先生が	母校に	ある。
(45) ☐	友人が	市内に	ある。
(46) ☐	達人が	住居に	ある。
(47) ☐	マスコミが	現場に	ある。
(48) ☐	メンバーが	ドームに	ある。
(49) ☐	少年が	深夜に	ある。
(50) ☐	弟が	電車に	ある。
(51) ☐	妹が	ロビーに	ある。
(52) ☐	警察が	近くに	ある。
(53) ☐	おふくろが	田舎に	ある。
(54) ☐	親友が	下宿に	ある。
(55) ☐	兄ちゃんが	海辺に	ある。
(56) ☐	オーナーが	本社に	ある。
(57) ☐	住民が	暮らしに	ある。
(58) ☐	仲良しが	故郷に	ある。
(59) ☐	駅員が	ホームに	ある。
(60) ☐	キャプテンが	試合に	ある。

△の数: /60

同様に、実験中に提示された刺激文に対して、条件毎に以下のチェックを行って下さい。

- 正文条件: 正文だが、文章として刺激文の意味が不適切だと思った文には、口欄に×を付けて下さい。
● 非文条件: 非文だが、文章として刺激文の意味が成立できると思った文には、口欄に△を付けて下さい。

チェックを付けた文は、実験の解析データとして採用されません。
厳しく評価して頂いた方が、結果を正確にフィードバックできますので、
できるだけ**手加減をせず**に評価をして下さい。よろしくお願いします。

○正文条件: 静的な名詞 + 存在動詞「ある」

●非文条件: 静的な名詞 + 存在動詞「いる」

一般名詞(モ－ラ4)		一般名詞(モ－ラ3)
親密度(6.0-7.0)		親密度(6.0-7.0)
例	おじいさんが	こたつに
評価欄		ある。
(1)	シャンプーが	風呂場に
(2)	アパートが	あつちに
(3)	かまぼこが	おせちに
(4)	レポ－トが	バッグに
(5)	新聞が	ポストに
(6)	コートが	コートに
(7)	ハンカチが	ズボンに
(8)	交流が	国家に
(9)	オアシスが	砂漠に
(10)	花束が	拳式に
(11)	幸福が	理想に
(12)	たんぼぼが	地面に
(13)	伝票が	机に
(14)	香水が	車に
(15)	ざるそばが	ランチに
(16)	牛乳が	コップに
(17)	信号が	カーブに
(18)	生ゴミが	袋に
(19)	ジ－パンが	お店に
(20)	お祭りが	各地に
(21)	発見が	科学に
(22)	ろうそくが	ランプに
(23)	看板が	道路に
(24)	まつたけが	林に
(25)	食券が	財布に
(26)	じゃがいもが	サラダに
(27)	商品が	見本に
(28)	サンダルが	荷物に
(29)	アイデアが	心に
(30)	広告が	雑誌に
(31)	ガソリンが	車に
(32)	食堂が	施設に
(33)	大根が	畑に
(34)	失敗が	記憶に
(35)	重力が	地球に
(36)	ボーナスが	口座に
(37)	肉まんが	レンジに
(38)	目薬が	眼科に
(39)	スタジ－が	遠くに
(40)	日本酒が	飲み屋に
(41)	おでんにゃくが	おでんに
(42)	そろばんが	畳に
(43)	ひまわりが	周囲に
(44)	数学が	課題に
(45)	髪の毛が	頭に
(46)	タイトルが	表紙に
(47)	ポスターが	書店に
(48)	ピーマンが	ハウスに
(49)	スリッパが	便所に
(50)	弁当が	列車に
(51)	アンテナが	南に
(52)	サファイアが	指輪に
(53)	ウイスキーが	ボトルに
(54)	大学が	地域に
(55)	カステラが	食器に
(56)	売店が	ビーチに
(57)	交番が	東に
(58)	説明が	手紙に
(59)	賞金が	金庫に
(60)	アルバムが	自宅に

×の数: /60

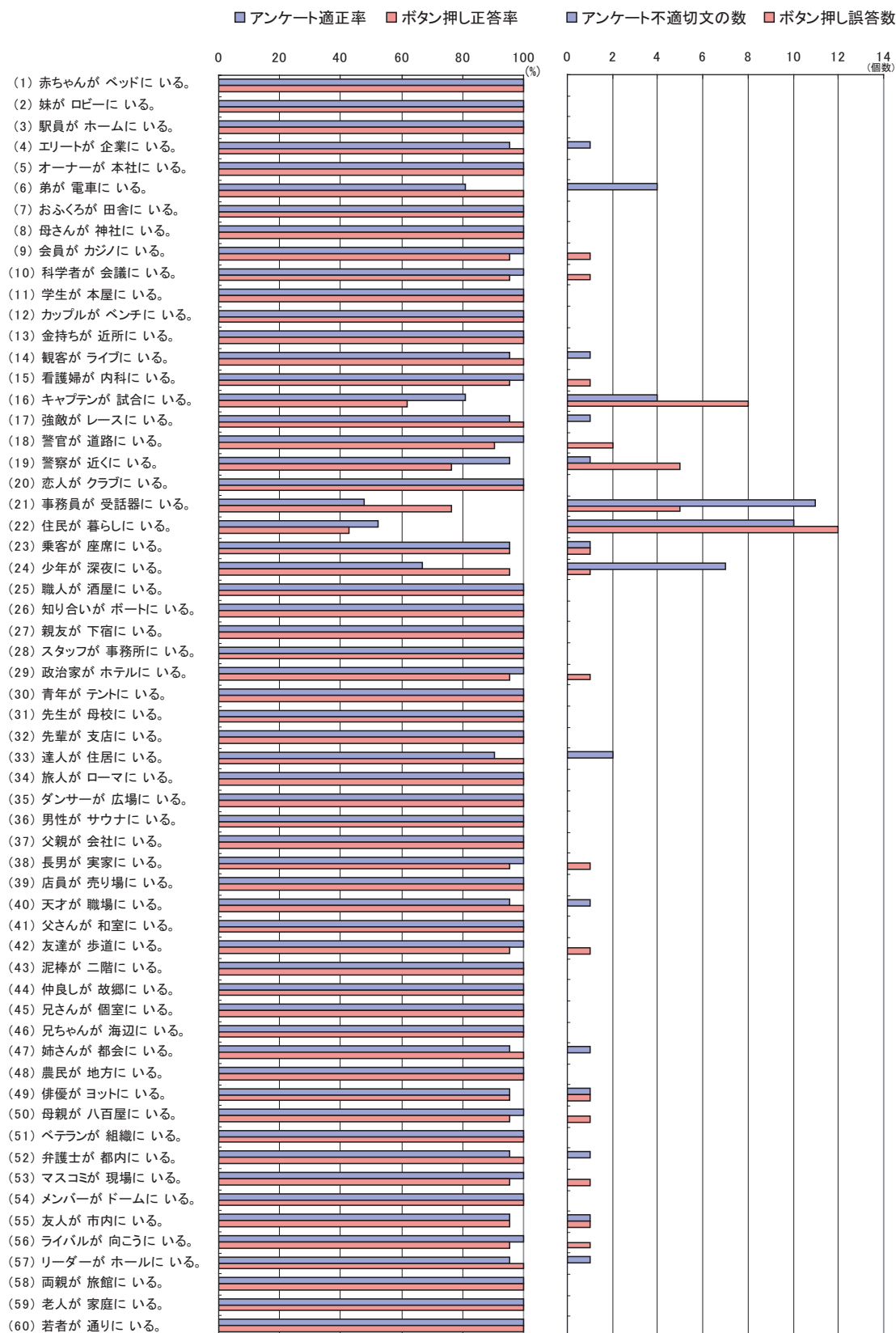
一般名詞(モ－ラ4)		一般名詞(モ－ラ3)
親密度(6.0-7.0)		親密度(6.0-7.0)
評価欄		
(1)	失敗が	記憶に
(2)	アンテナが	南に
(3)	ウイスキーが	ボトルに
(4)	おでんにゃくが	おでんに
(5)	カステラが	食器に
(6)	ポスターが	書店に
(7)	スタジ－が	遠くに
(8)	賞金が	金庫に
(9)	売店が	ビーチに
(10)	重力が	地球に
(11)	スリッパが	便所に
(12)	交番が	東に
(13)	説明が	手紙に
(14)	目薬が	眼科に
(15)	大学が	地域に
(16)	大根が	畑に
(17)	ガソリンが	車に
(18)	ひまわりが	周囲に
(19)	タイトルが	表紙に
(20)	数学が	課題に
(21)	日本酒が	飲み屋に
(22)	サファイアが	指輪に
(23)	そろばんが	畳に
(24)	髪の毛が	頭に
(25)	アルバムが	自宅に
(26)	ピーマンが	ハウスに
(27)	食堂が	施設に
(28)	弁当が	列車に
(29)	ボーナスが	口座に
(30)	肉まんが	レンジに
(31)	交流が	国家に
(32)	食券が	財布に
(33)	じゃがいもが	サラダに
(34)	アパートが	あつちに
(35)	ラケットが	コートに
(36)	サンダルが	荷物に
(37)	発見が	科学に
(38)	お祭りが	各地に
(39)	オアシスが	砂漠に
(40)	ハンカチが	ズボンに
(41)	牛乳が	コップに
(42)	生ゴミが	袋に
(43)	かまぼこが	おせちに
(44)	花束が	拳式に
(45)	レポ－トが	バッグに
(46)	ジ－パンが	お店に
(47)	ろうそくが	ランプに
(48)	アイデアが	心に
(49)	信号が	カーブに
(50)	商品が	見本に
(51)	たんぼぼが	地面に
(52)	伝票が	机に
(53)	新聞が	ポストに
(54)	ざるそばが	ランチに
(55)	看板が	道路に
(56)	香水が	車に
(57)	まつたけが	林に
(58)	幸福が	理想に
(59)	シャンプーが	風呂場に
(60)	広告が	雑誌に

△の数: /60

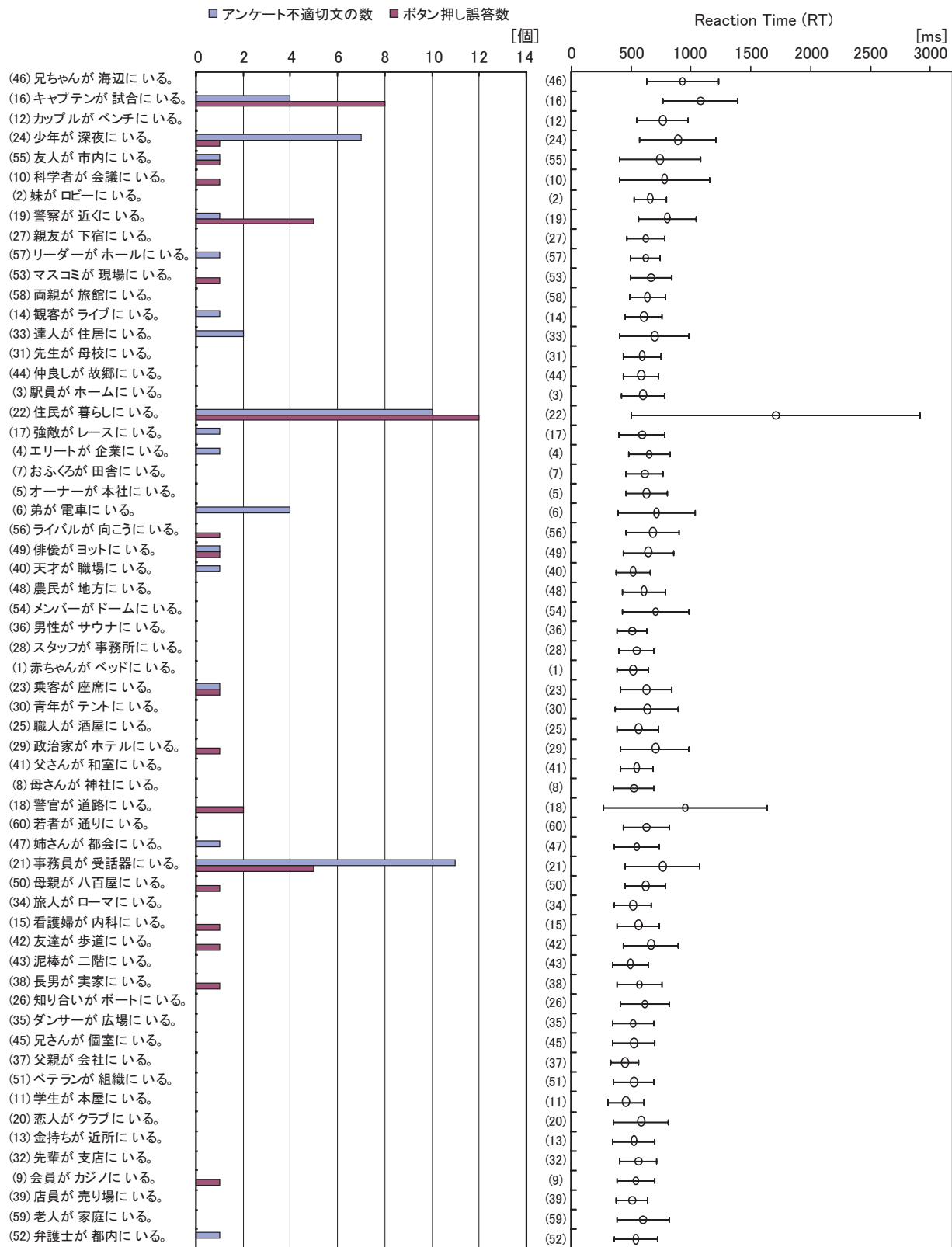
以上で全ての実験が終了しました。
長時間、本当にお疲れさまでした。
最後に再び、実験の協力を厚くお礼申し上げます。

実験者: 能村 幸太郎

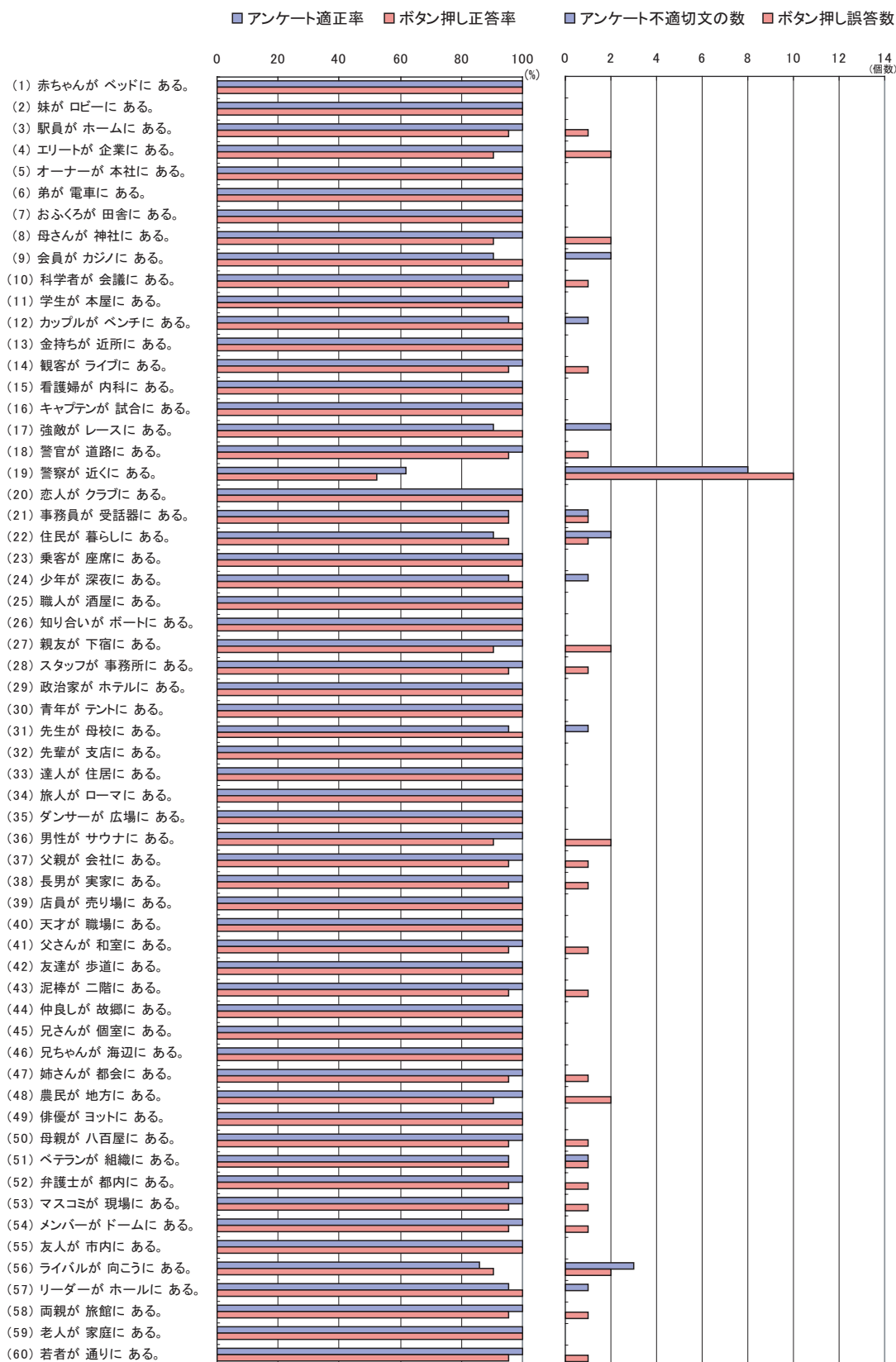
(1) 正文条件: 動的な名詞 (DN) + 存在動詞「いる」



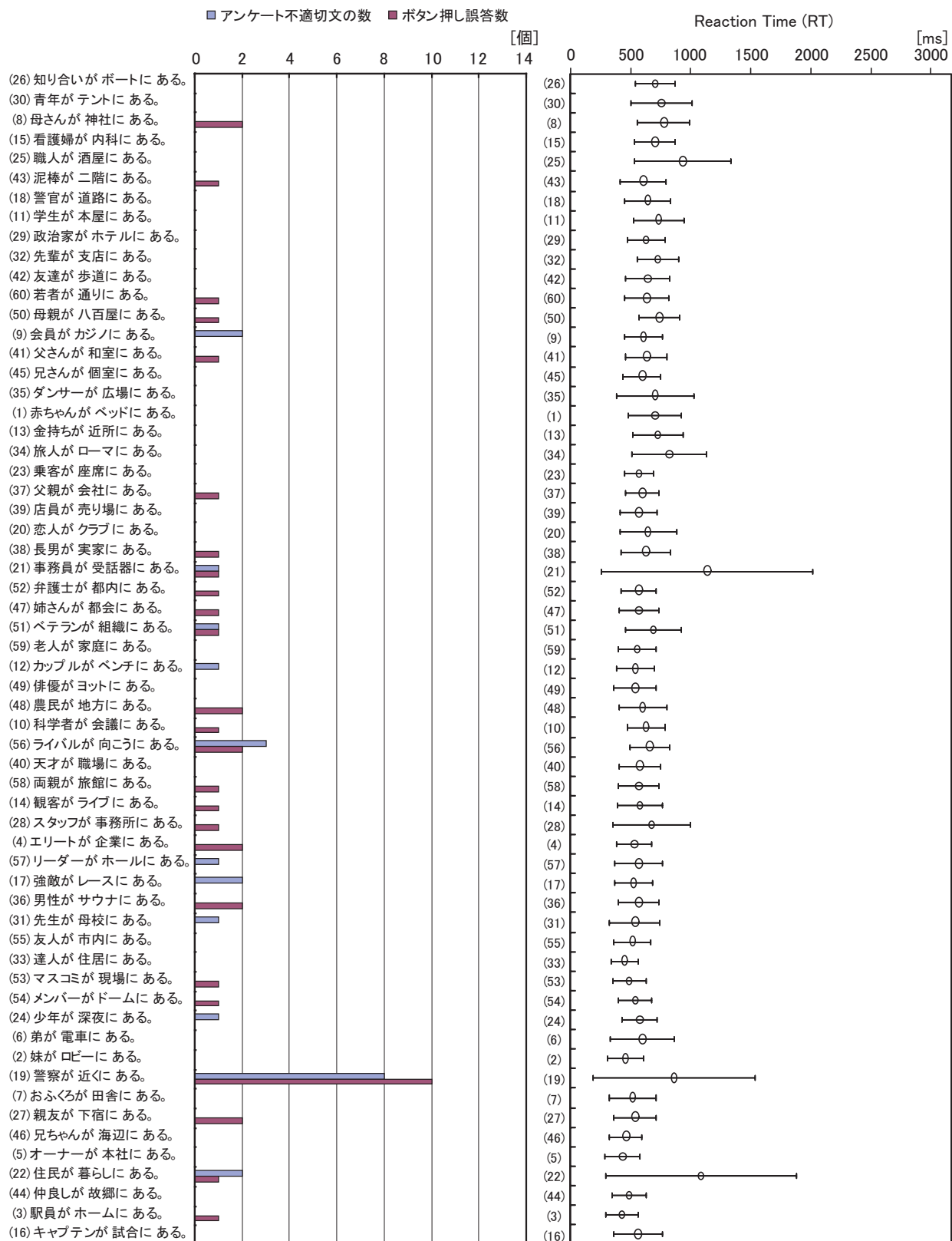
(1) 正文条件: DN + Iru



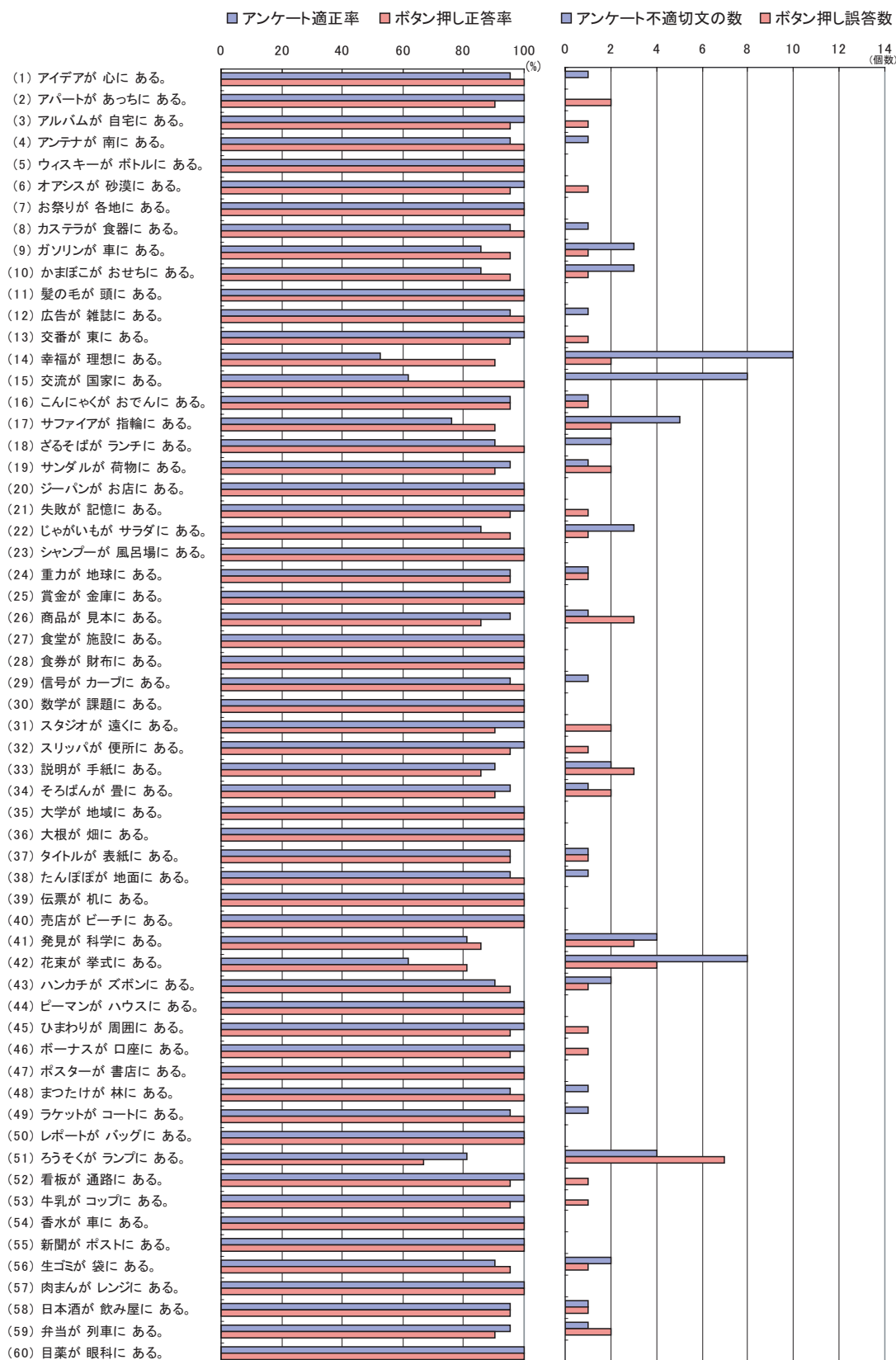
(2) 誤文条件: 動的な名詞 (DN) + 存在動詞「ある」



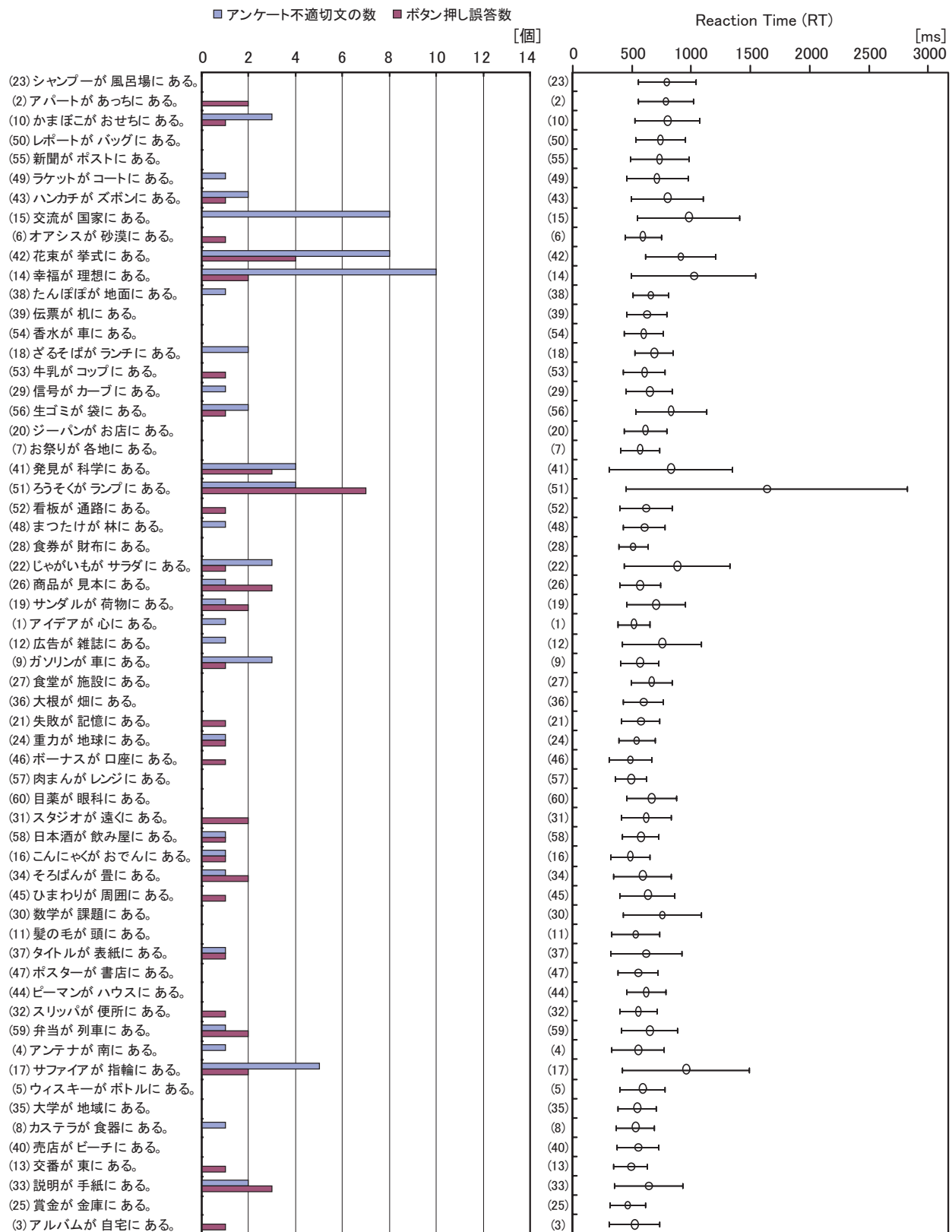
(2) 誤文条件: DN + Aru



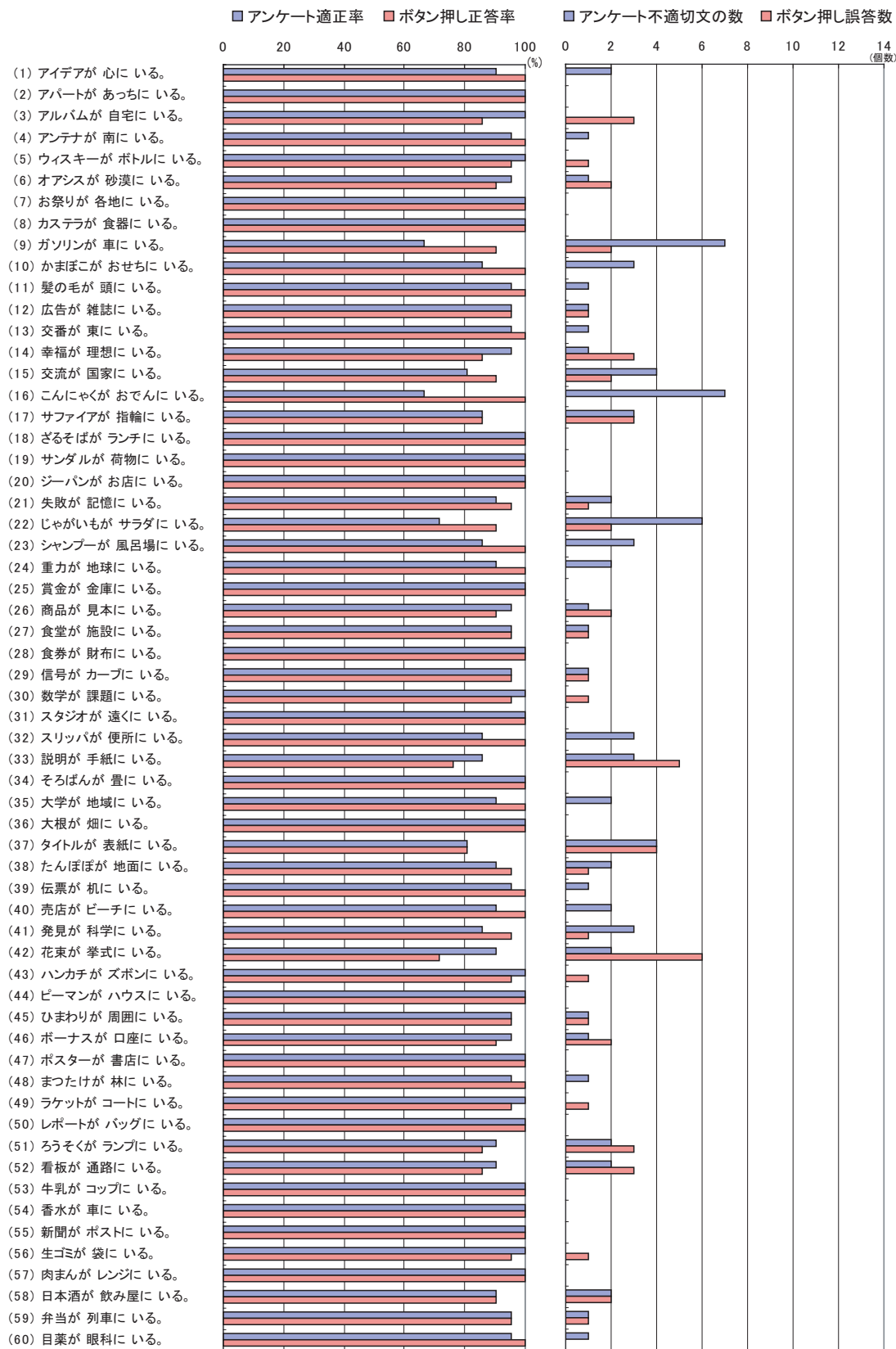
(3) 正文条件: 静的な名詞 (SN) + 存在動詞「ある」



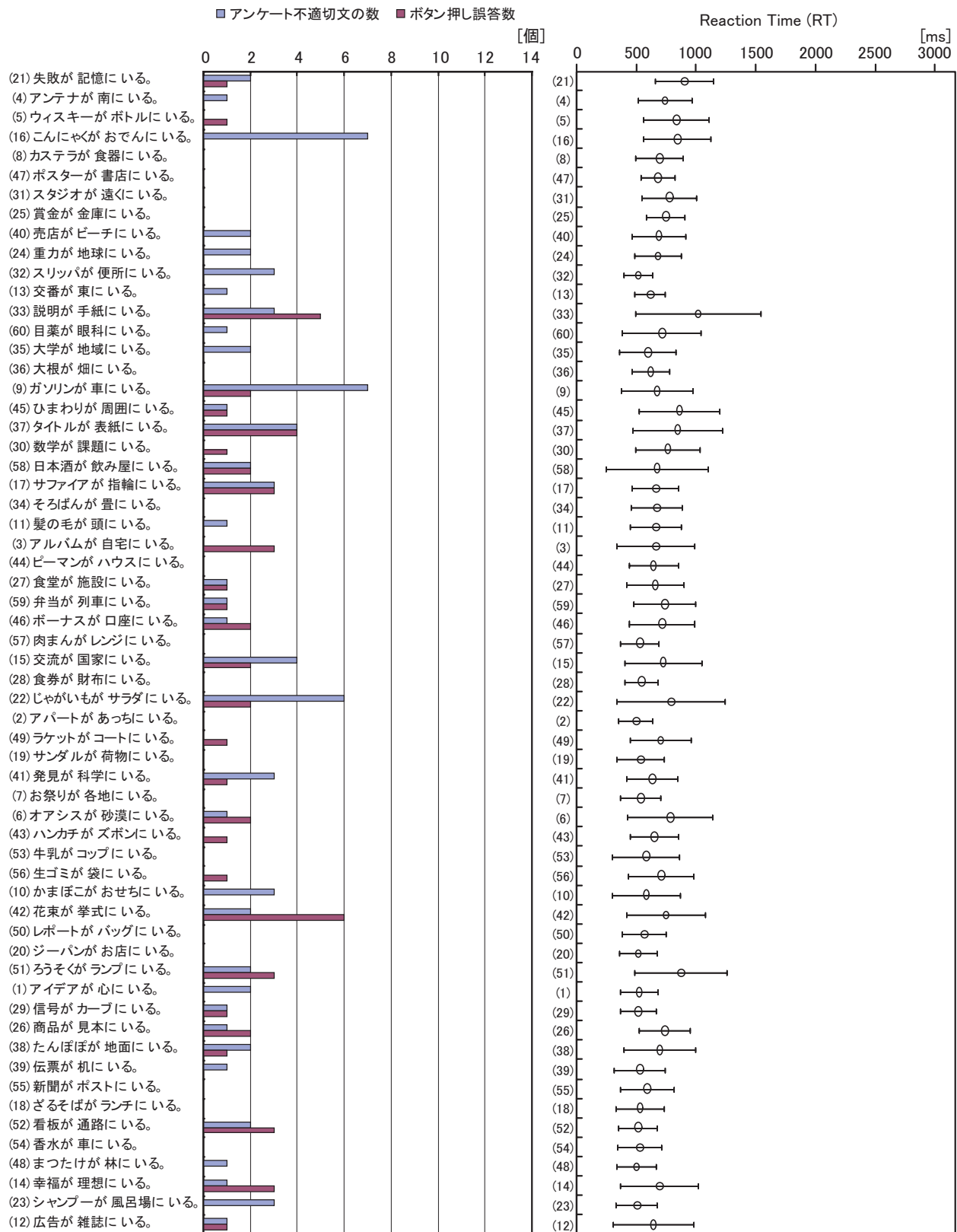
(3) 正文条件: SN + Aru



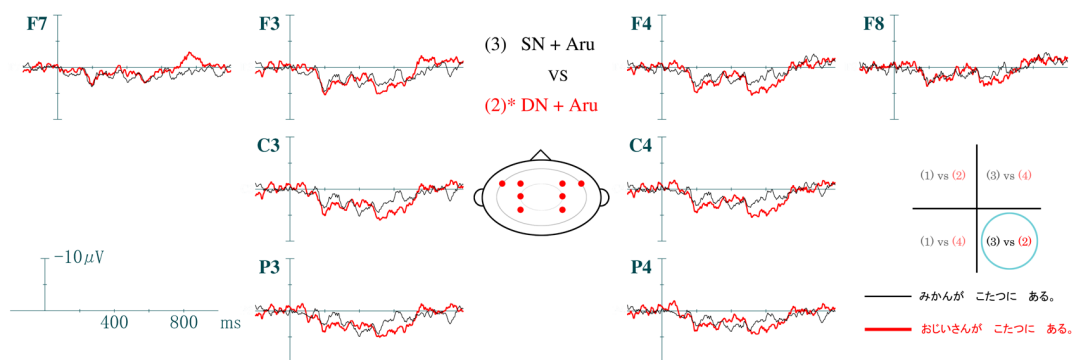
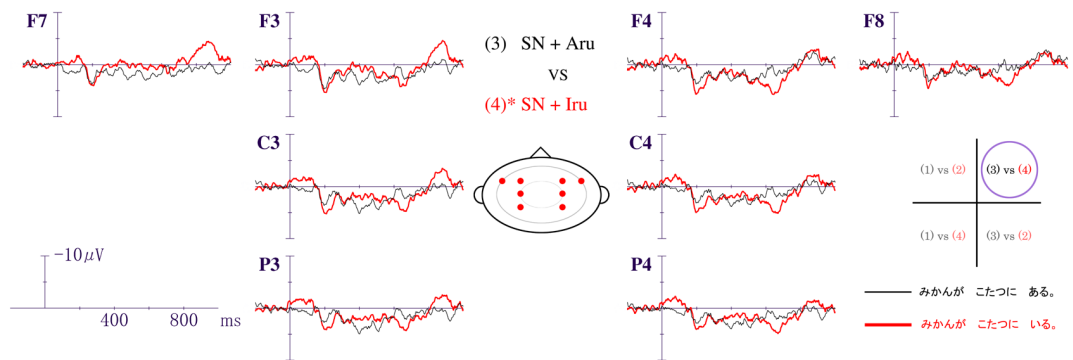
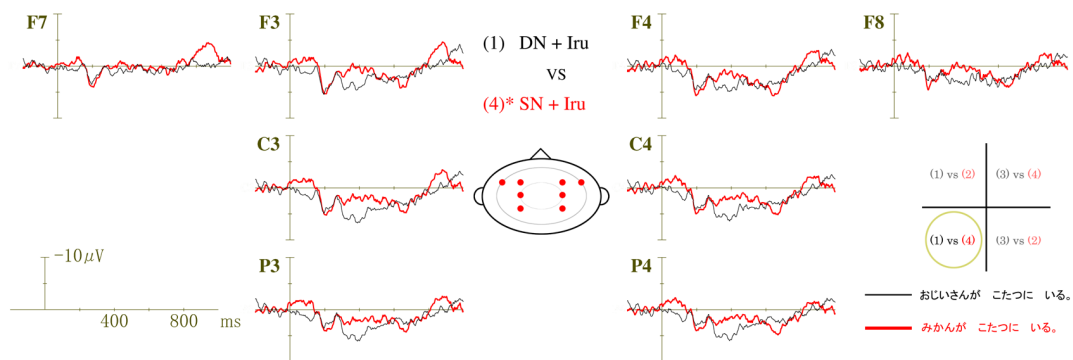
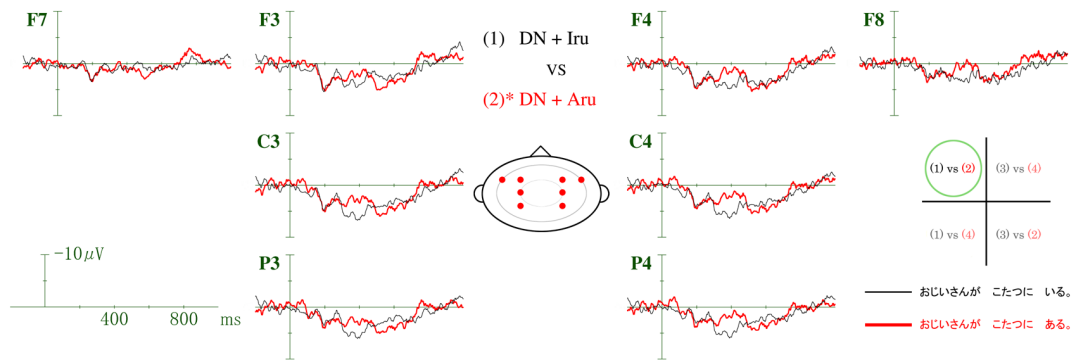
(4) 誤文条件: 静的な名詞 (SN) + 存在動詞「いる」

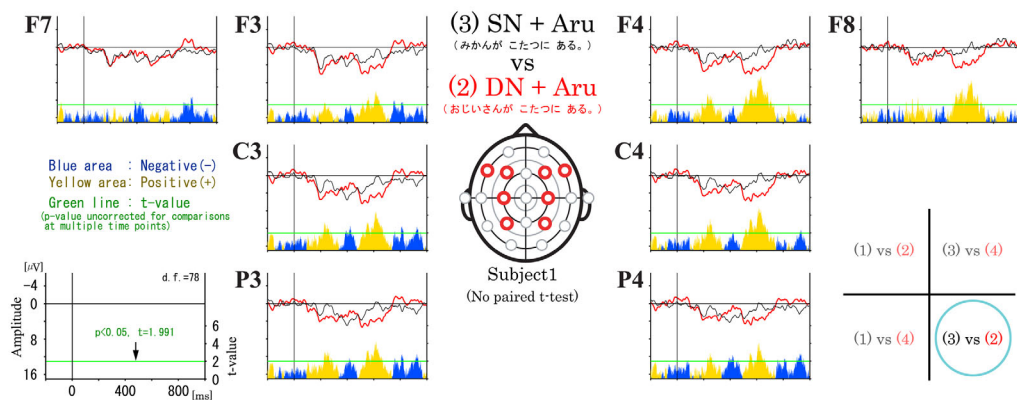
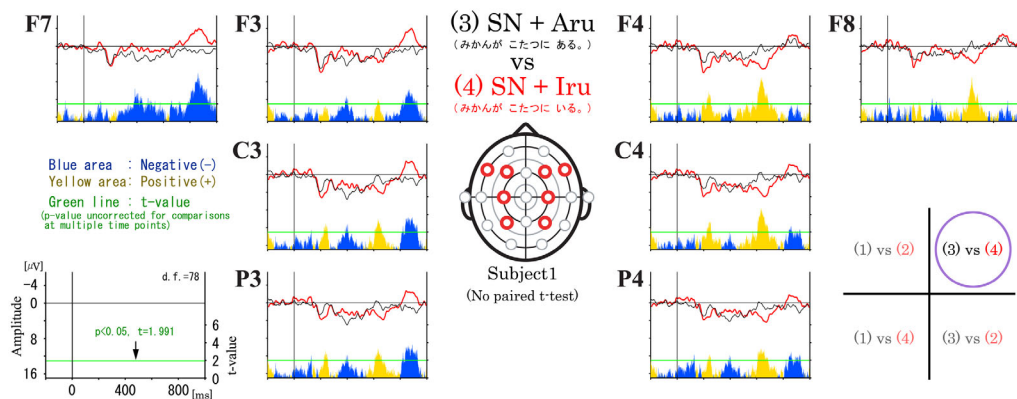
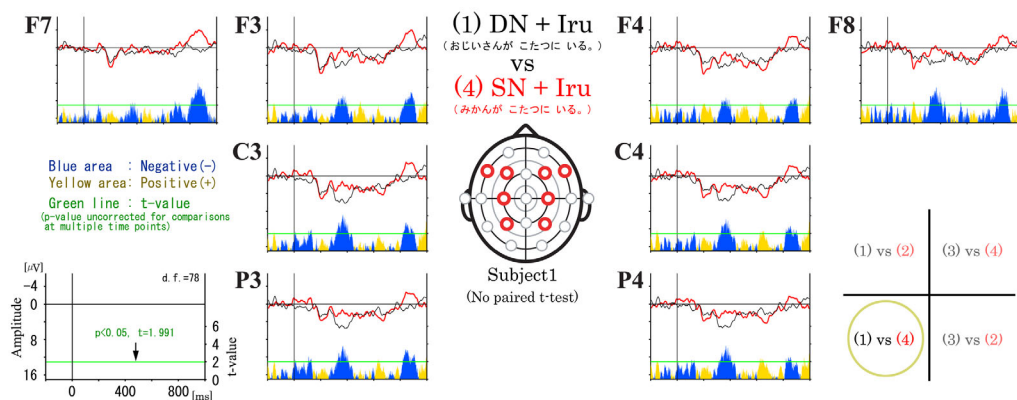
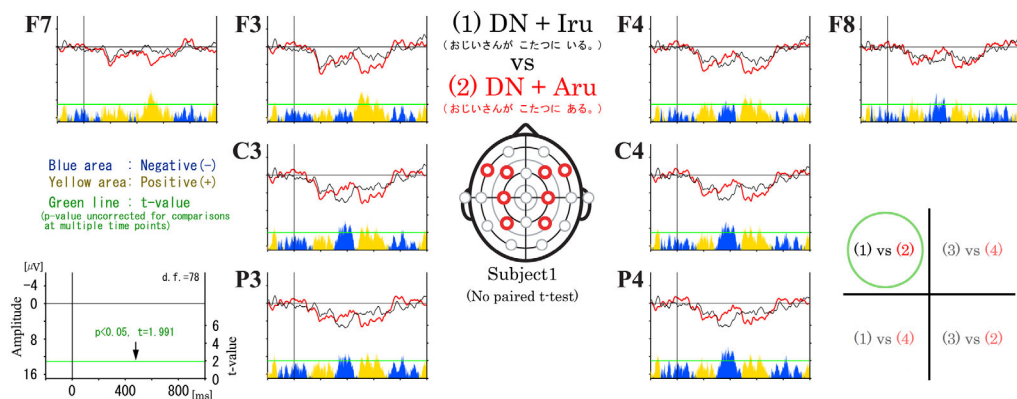


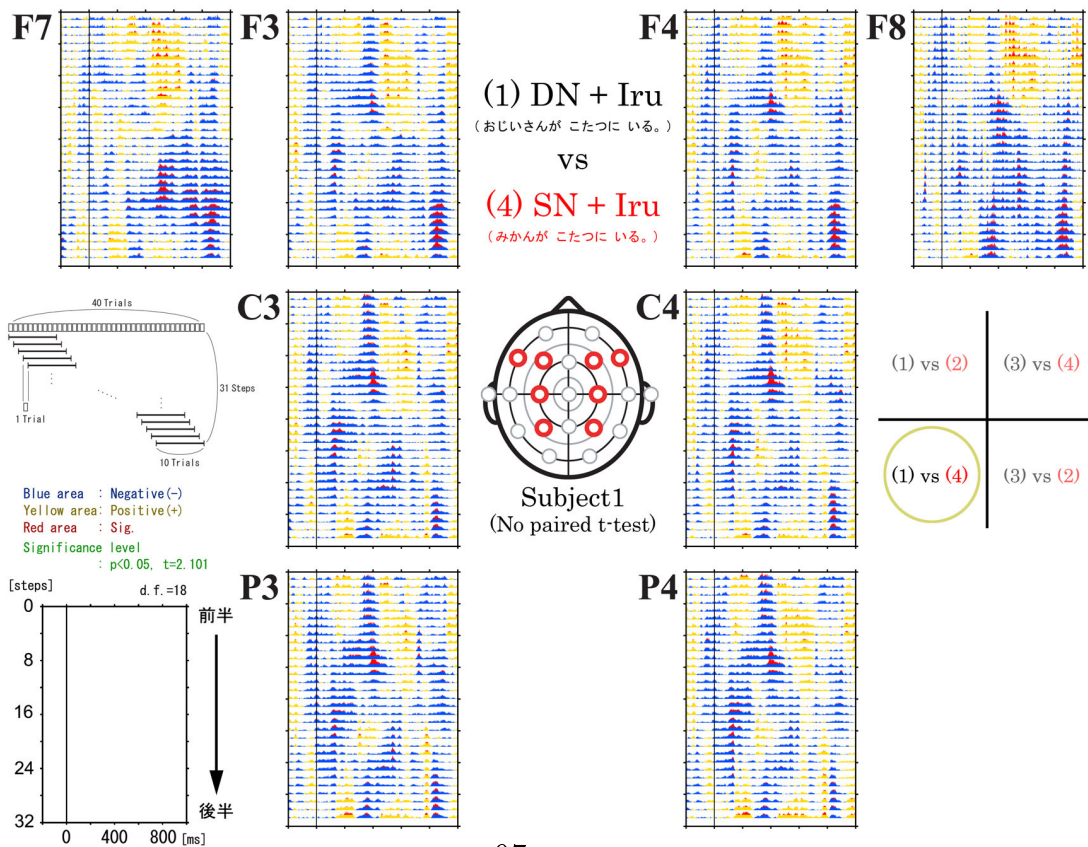
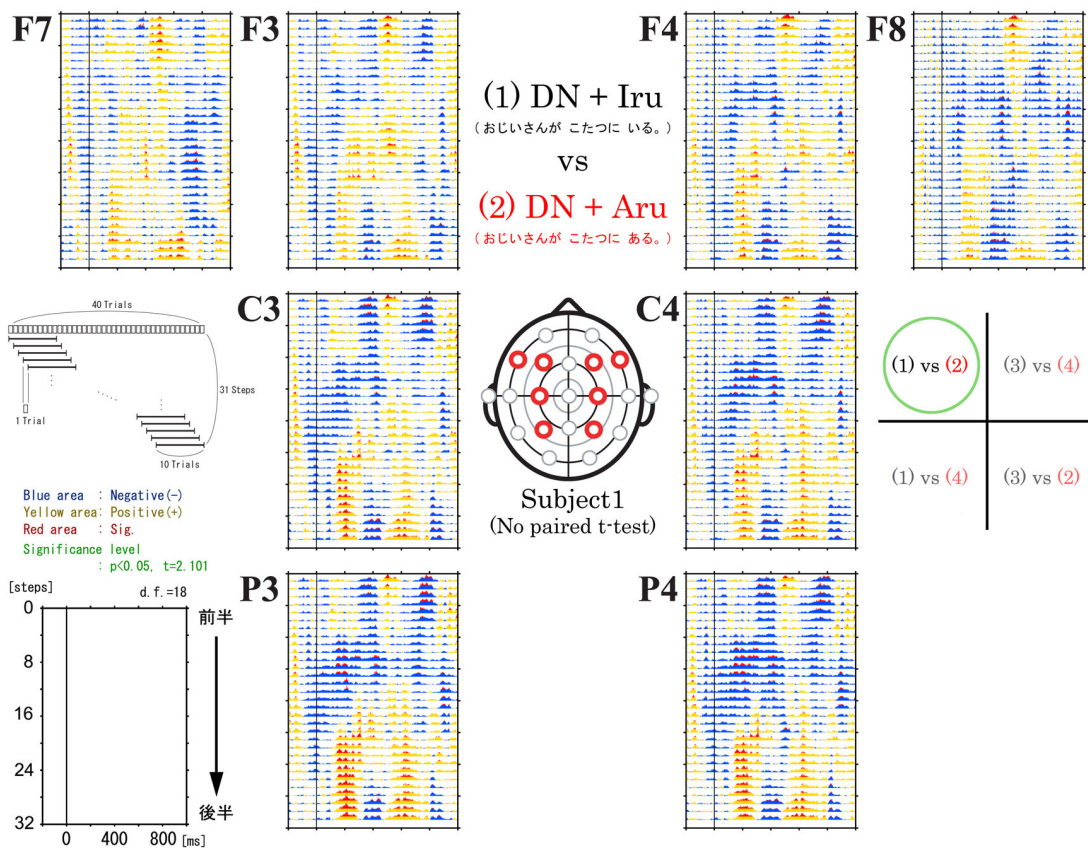
(4) 誤文条件: SN + Iru

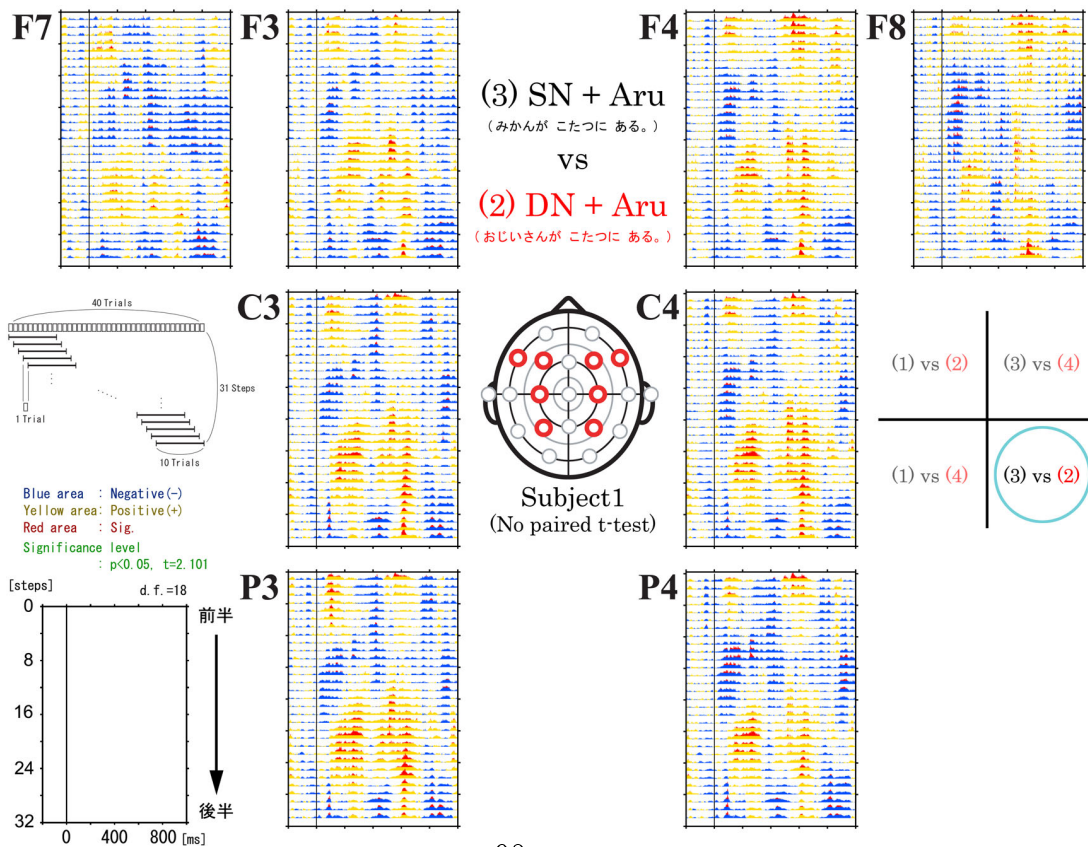
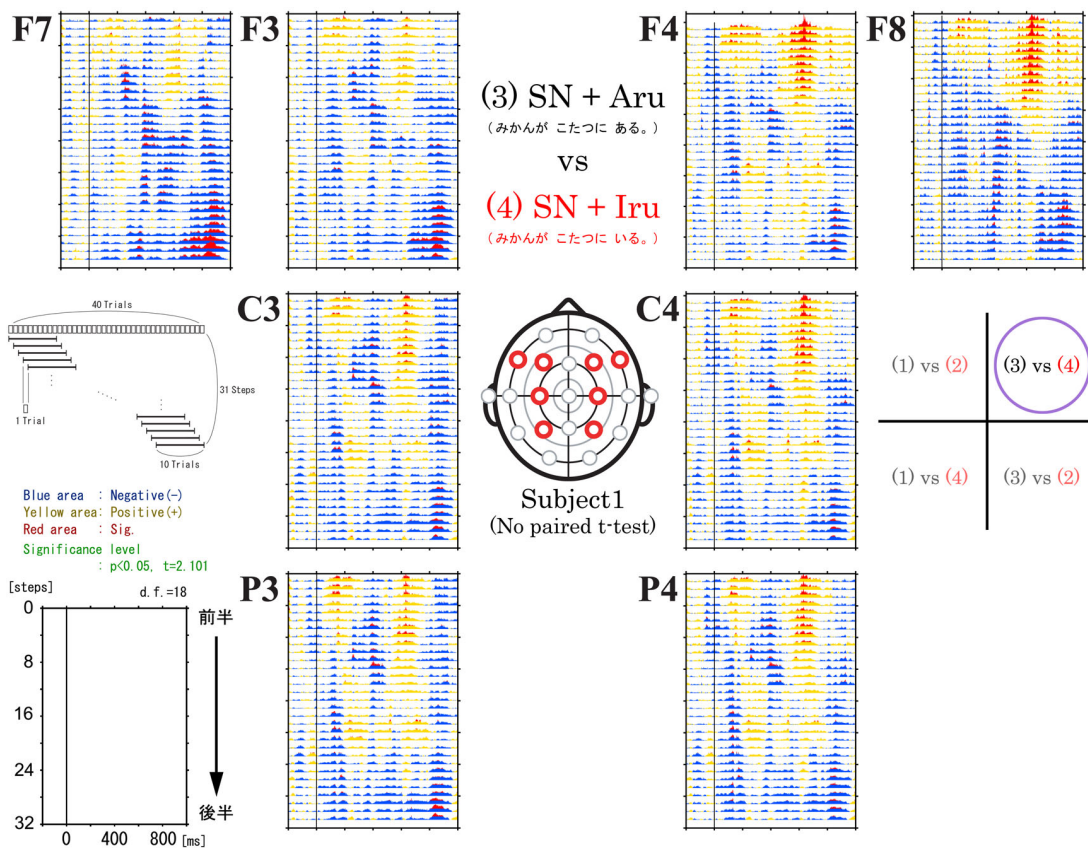


被験者 1

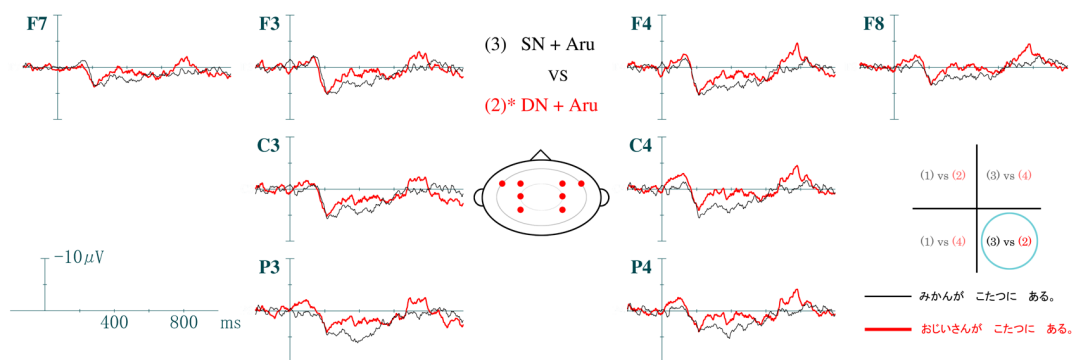
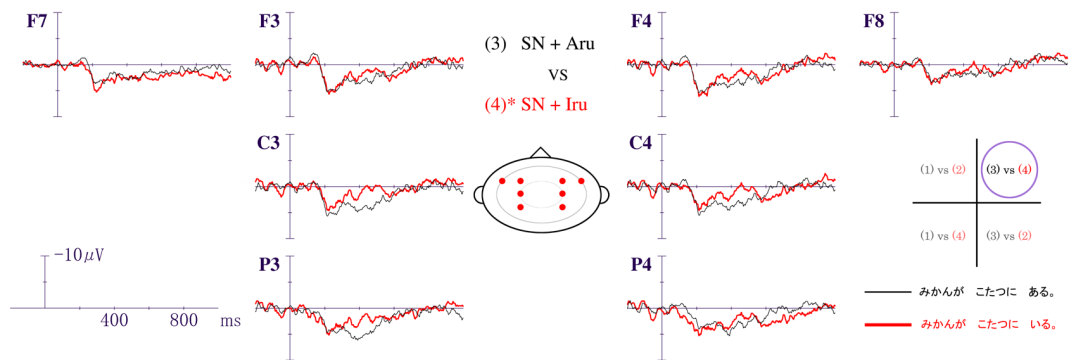
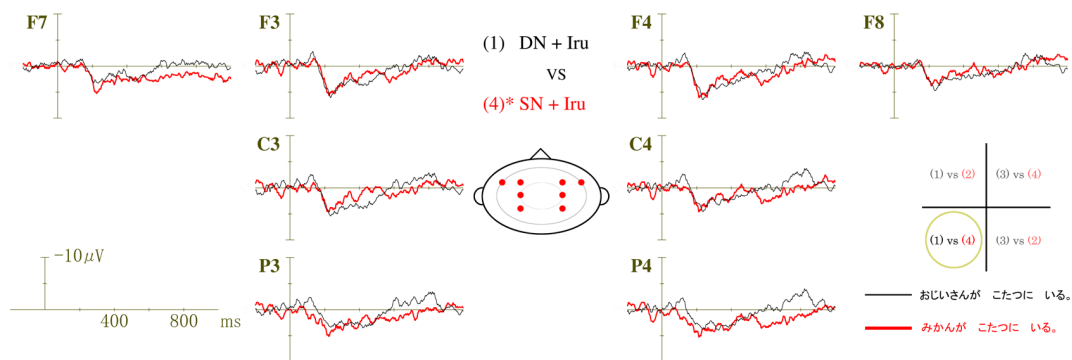
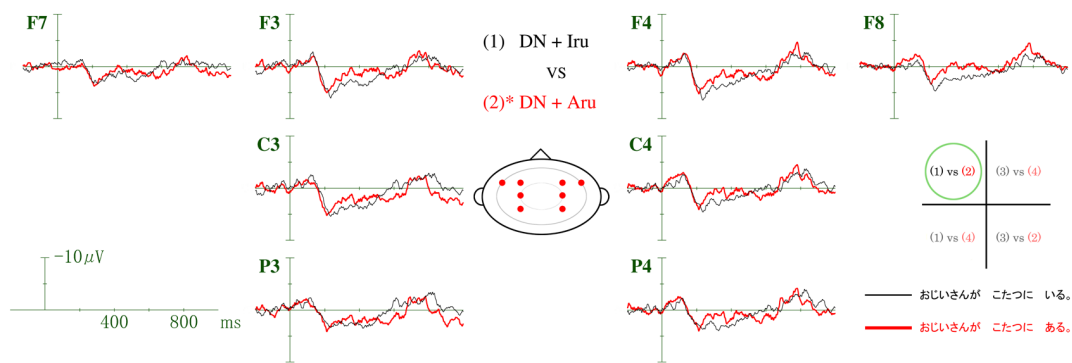


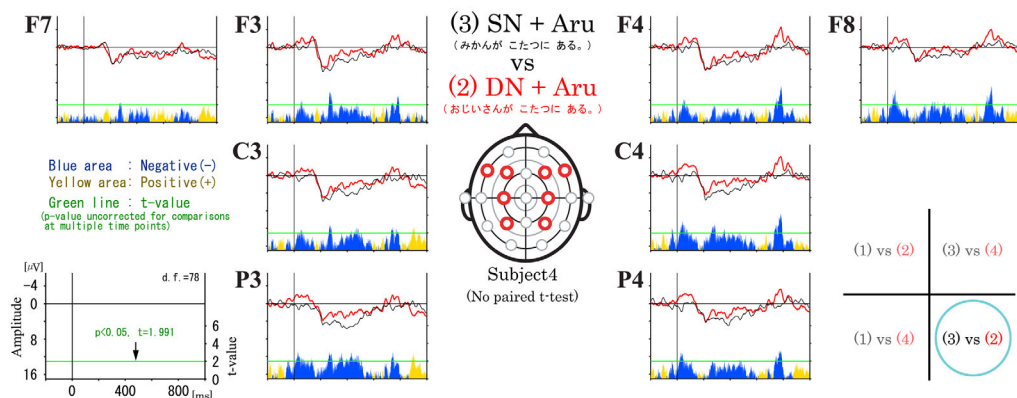
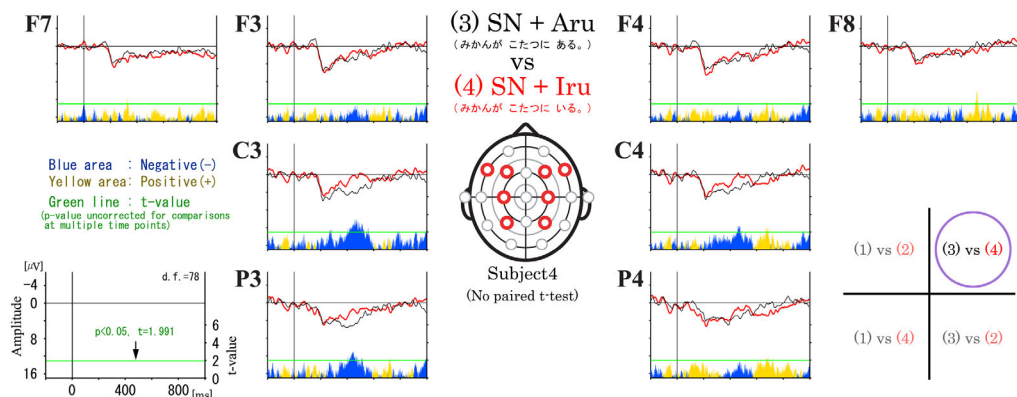
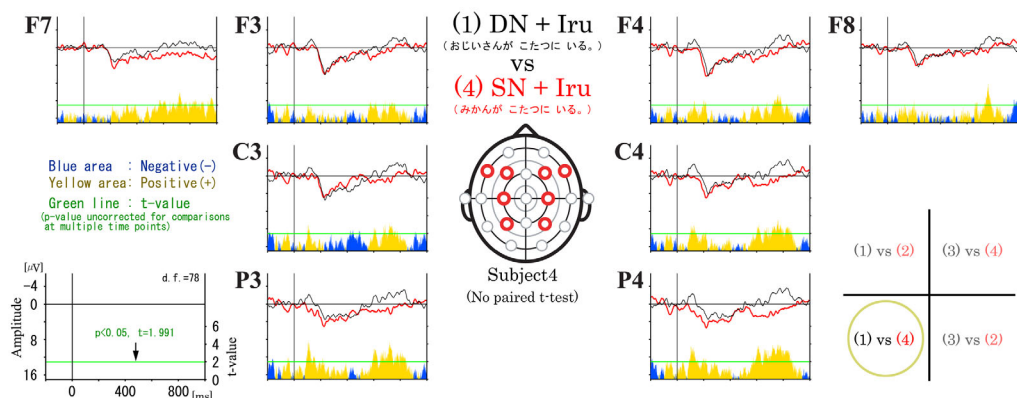
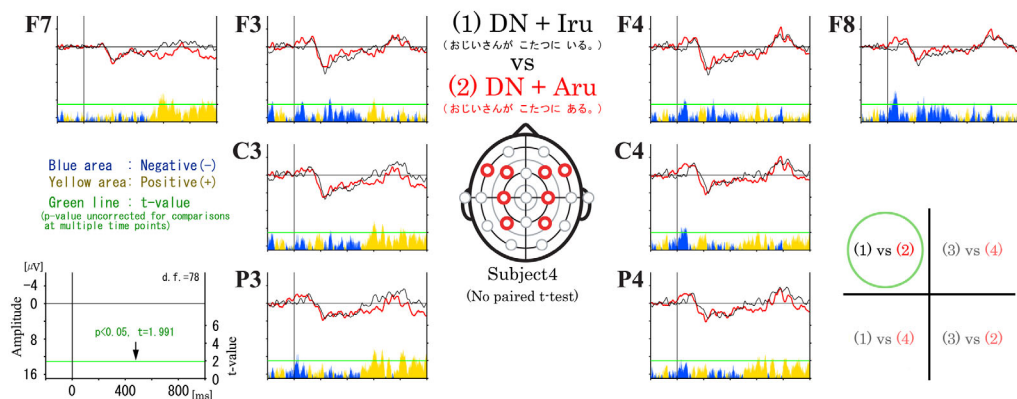


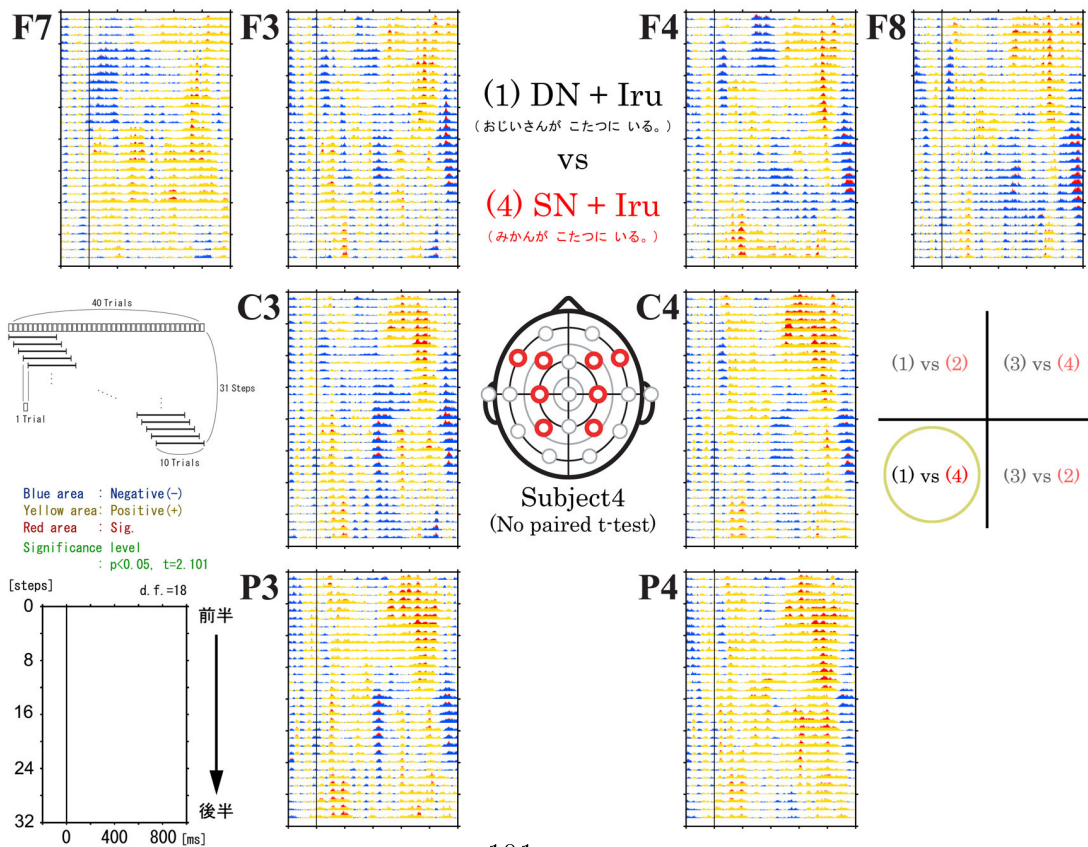
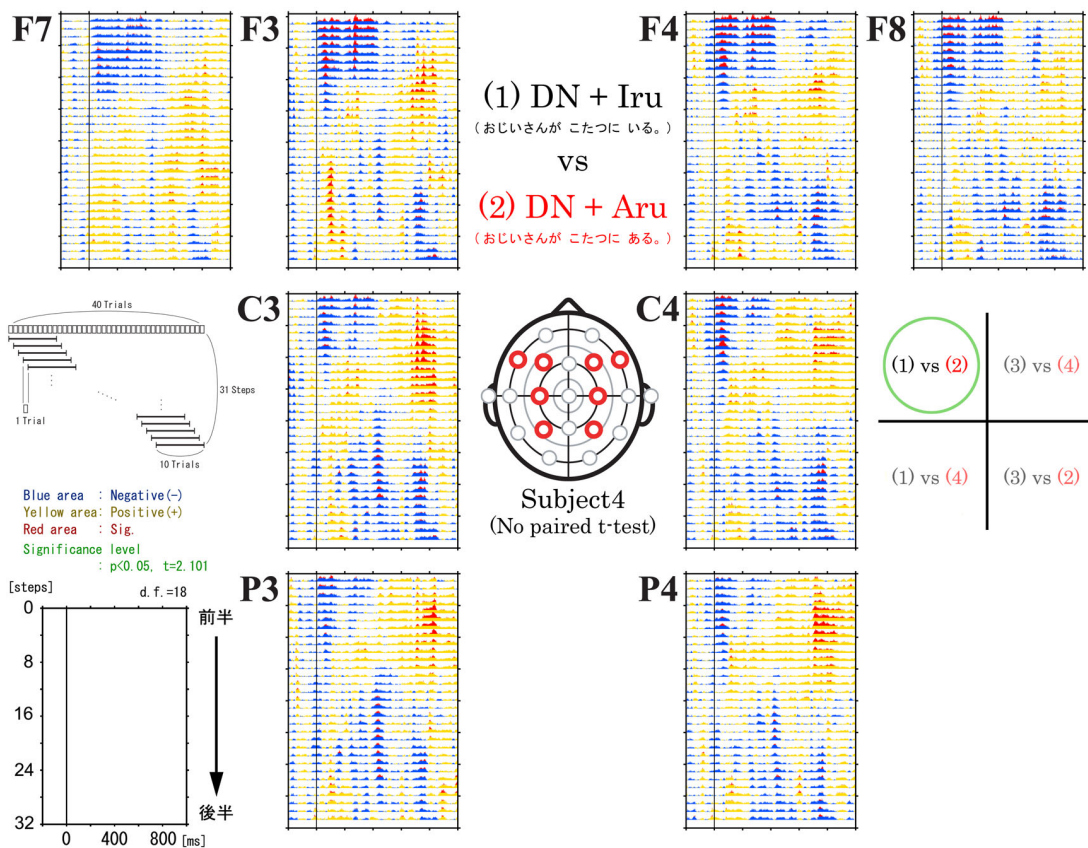


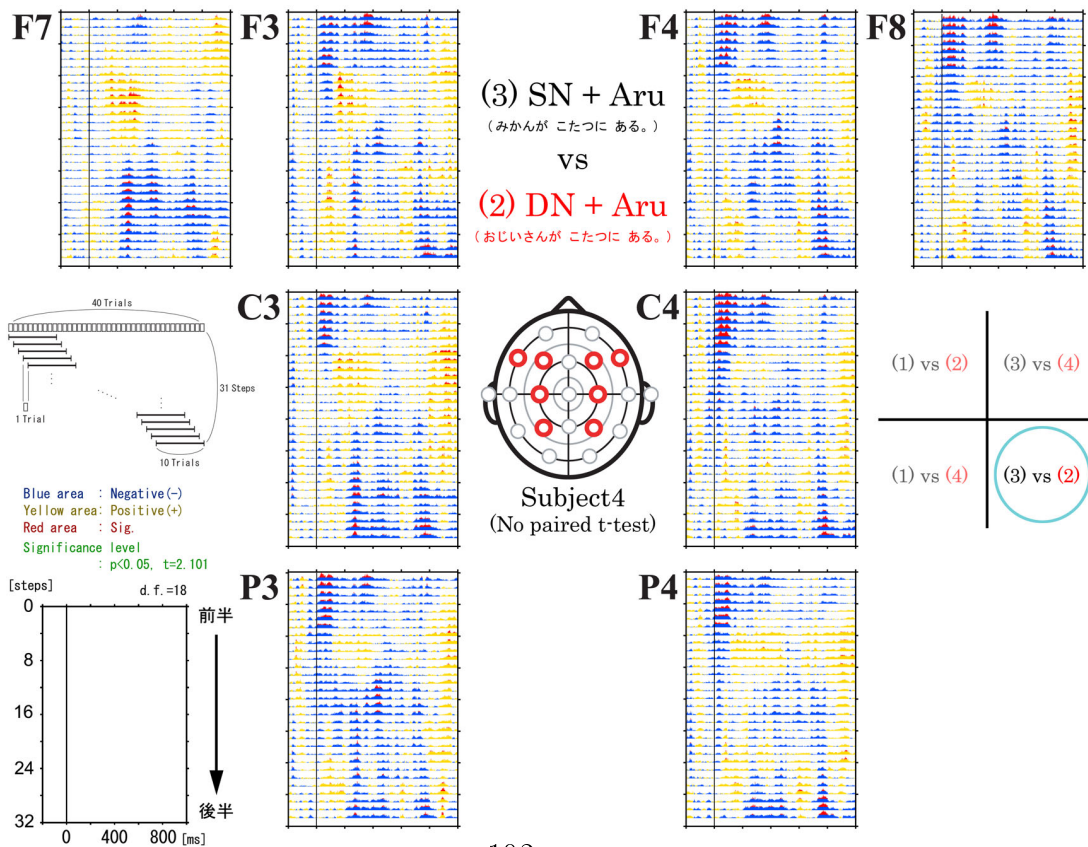
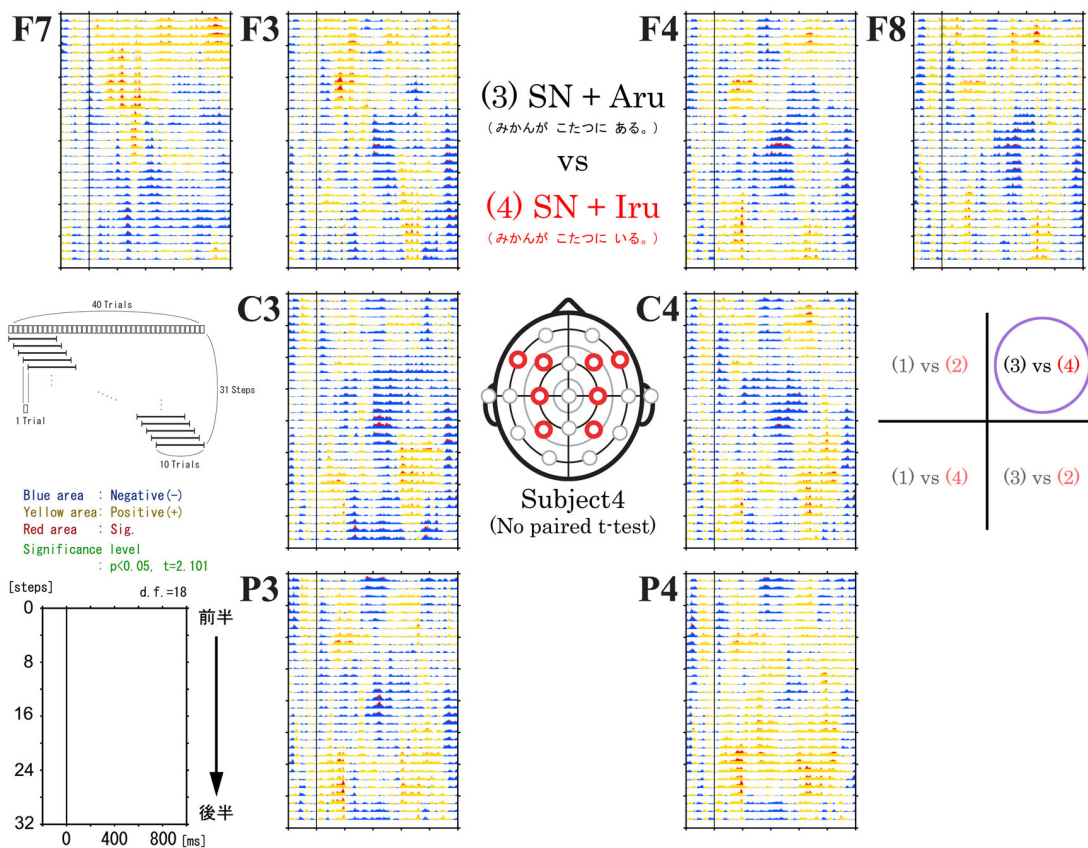


被験者 4

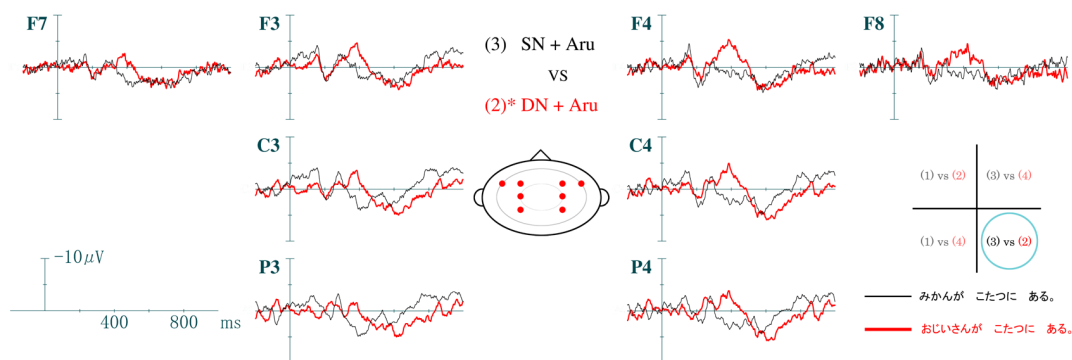
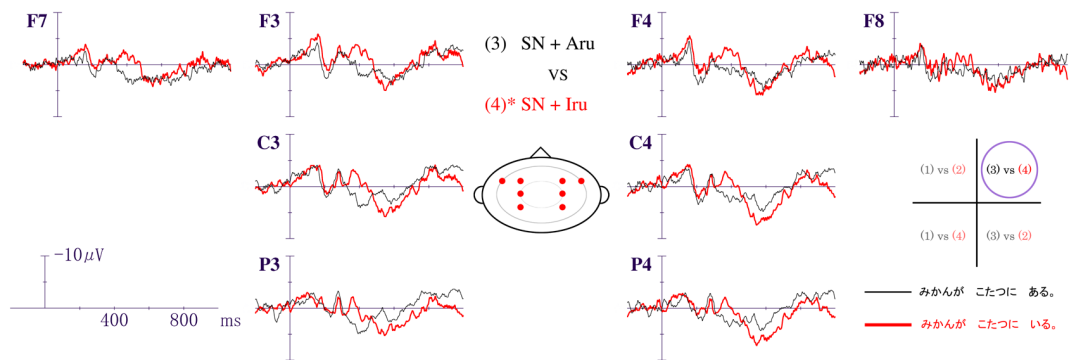
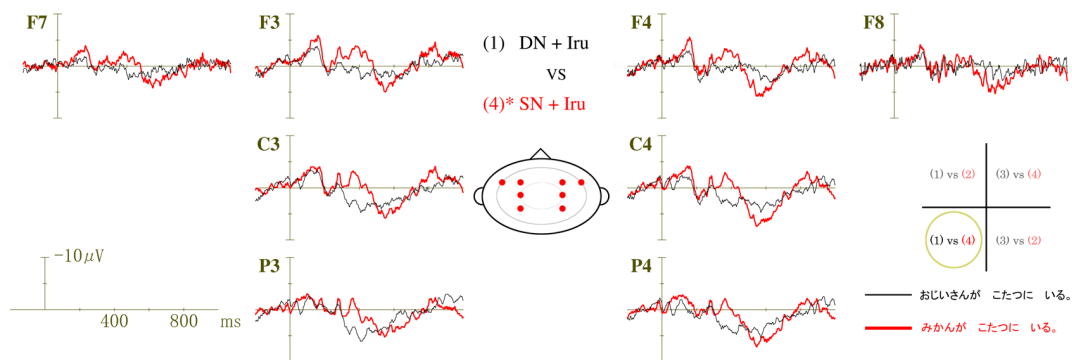
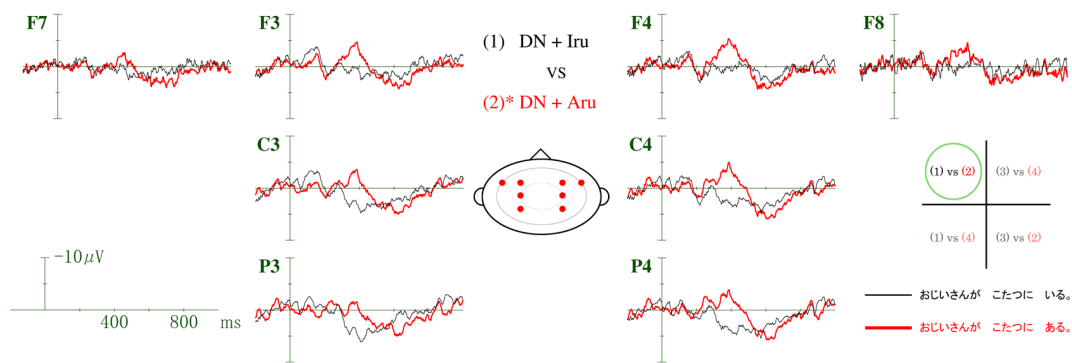


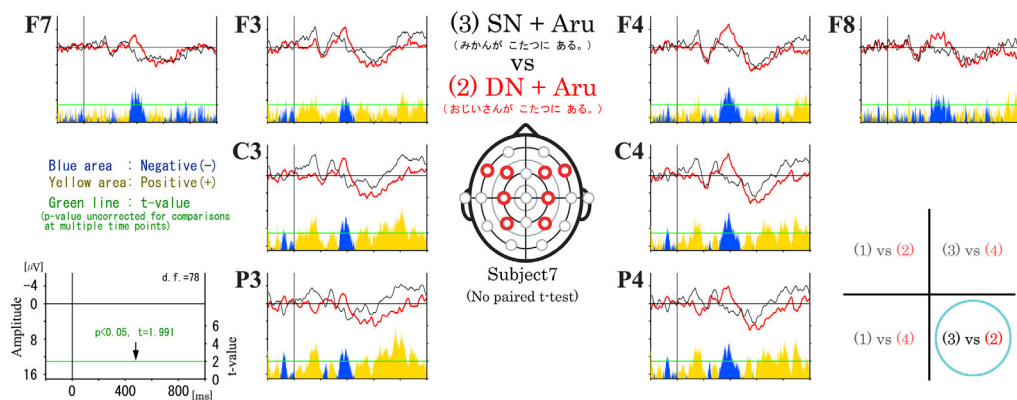
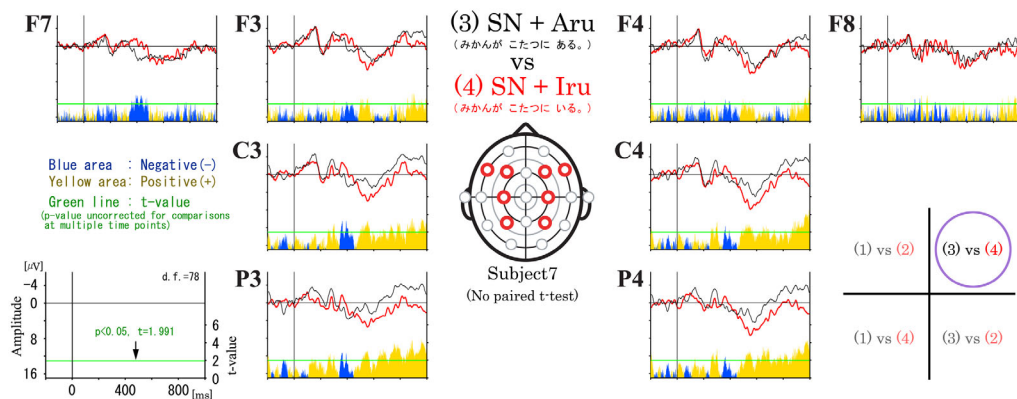
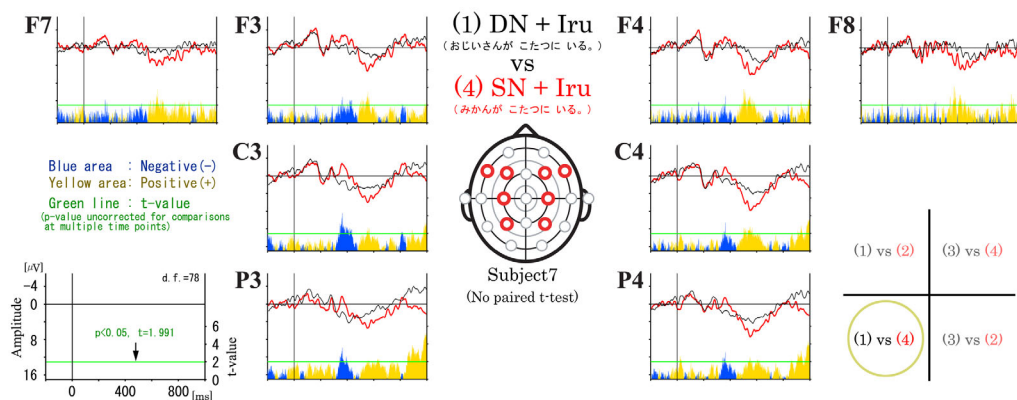
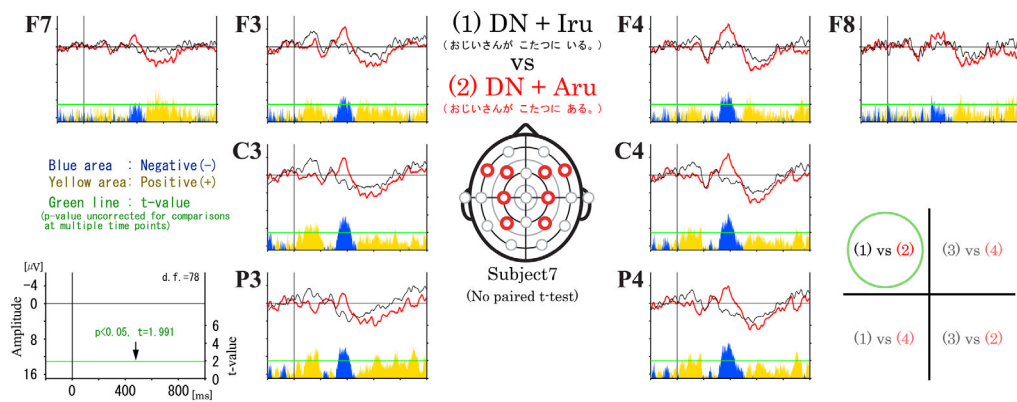


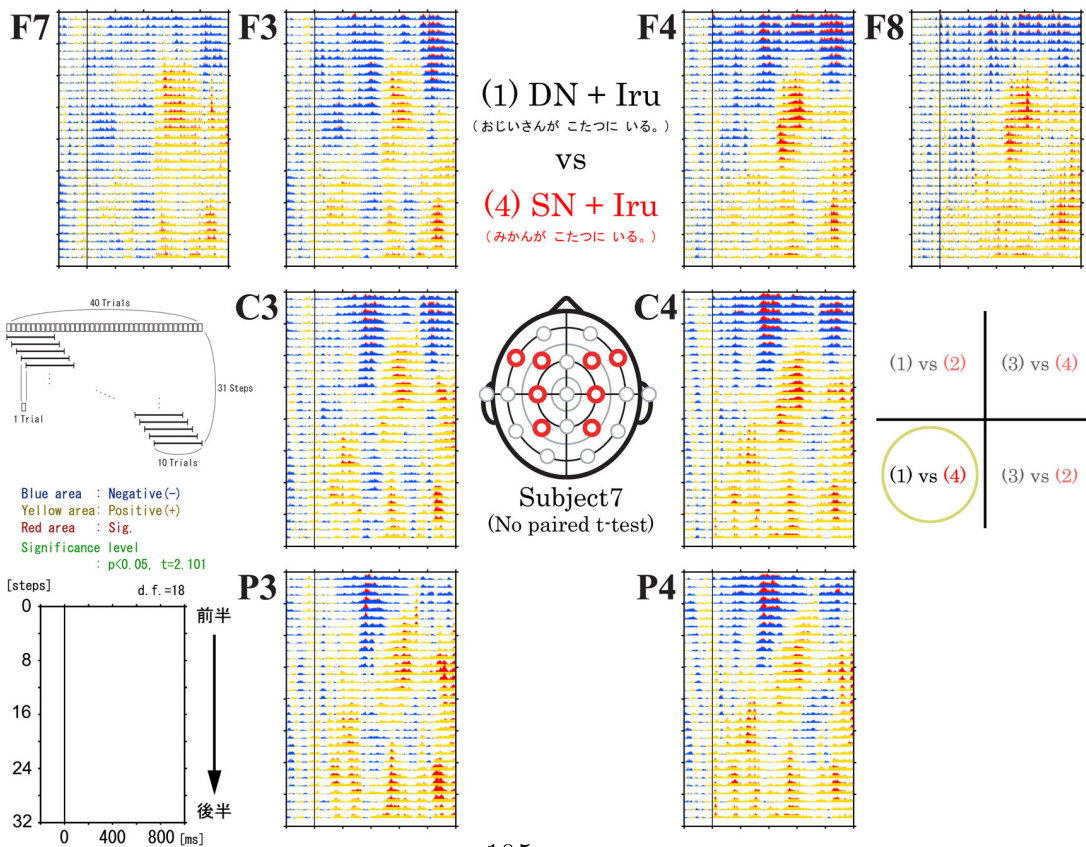
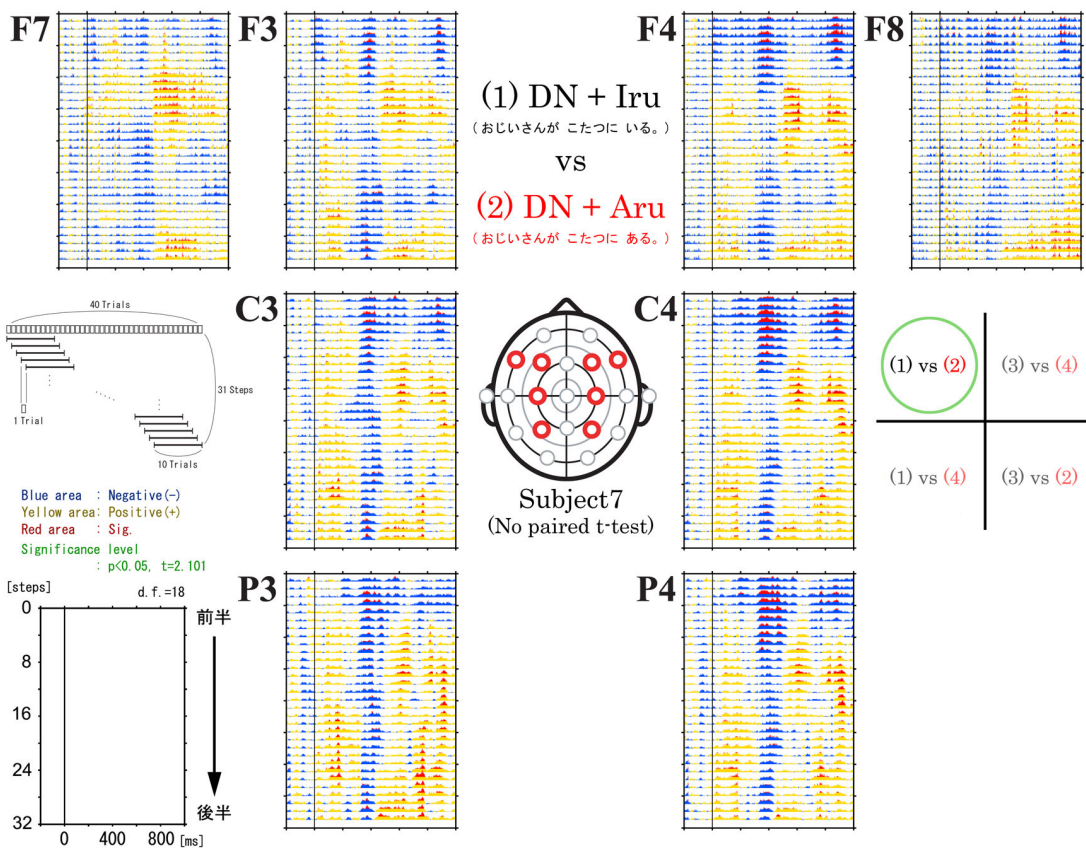


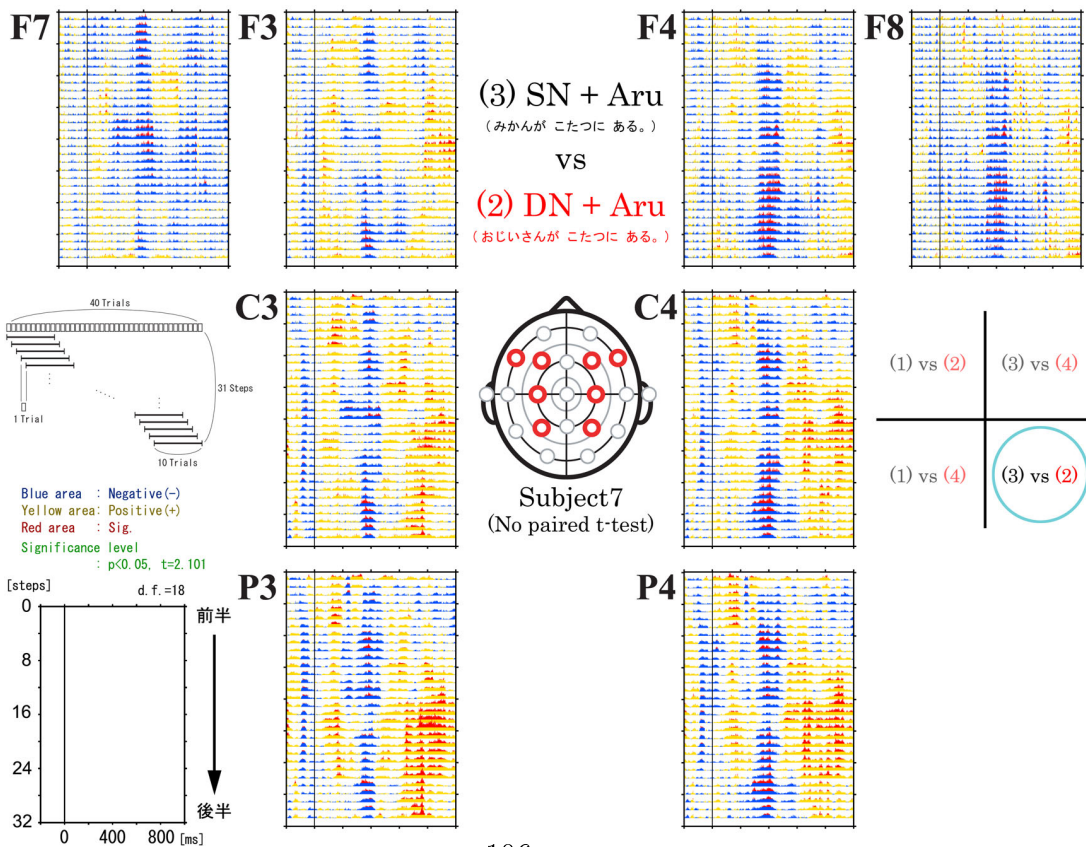
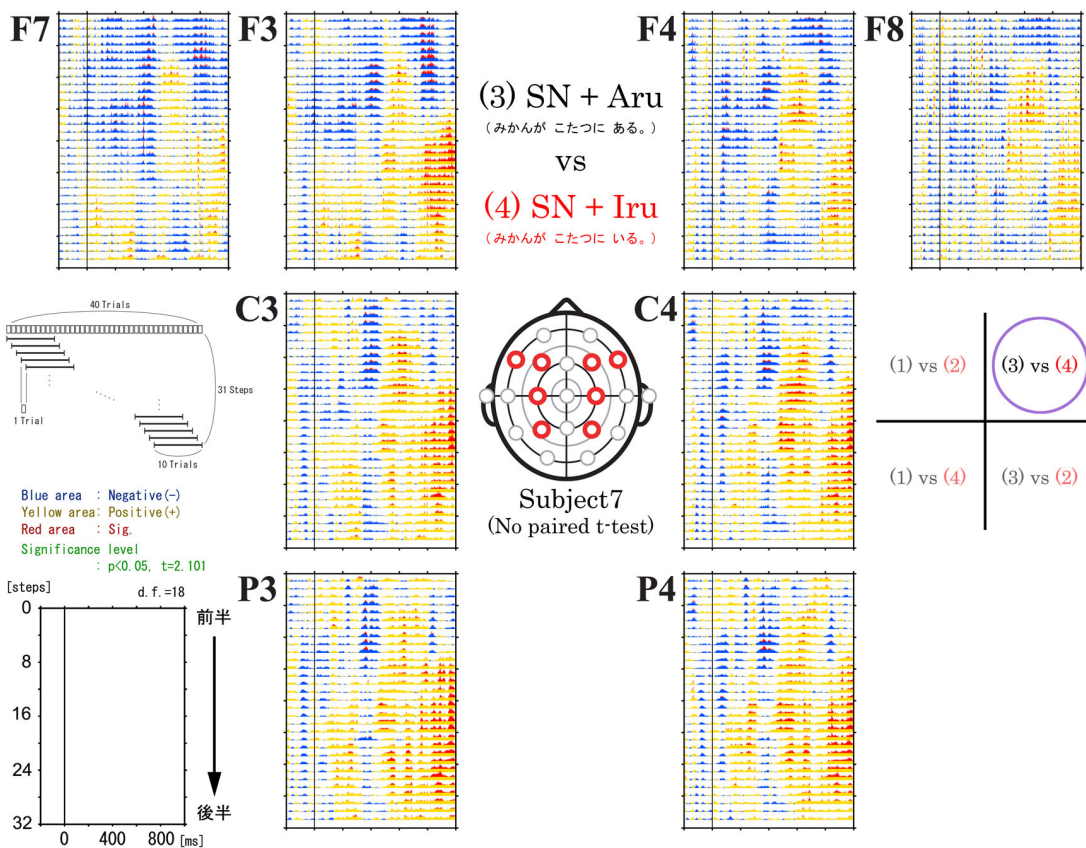


被験者 7

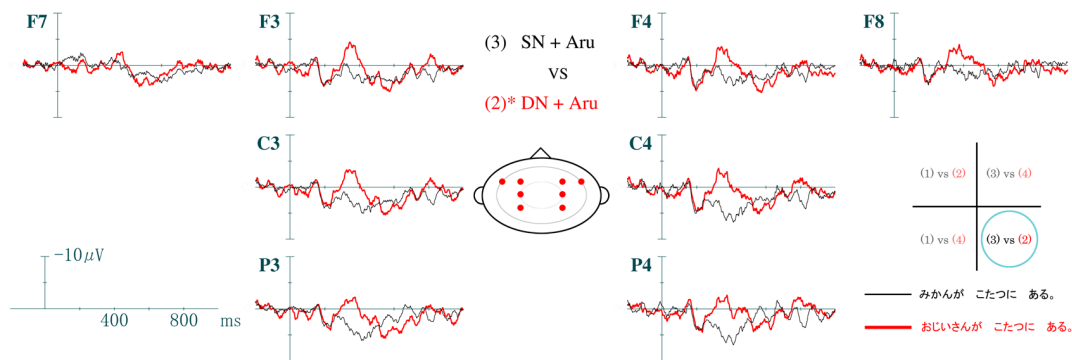
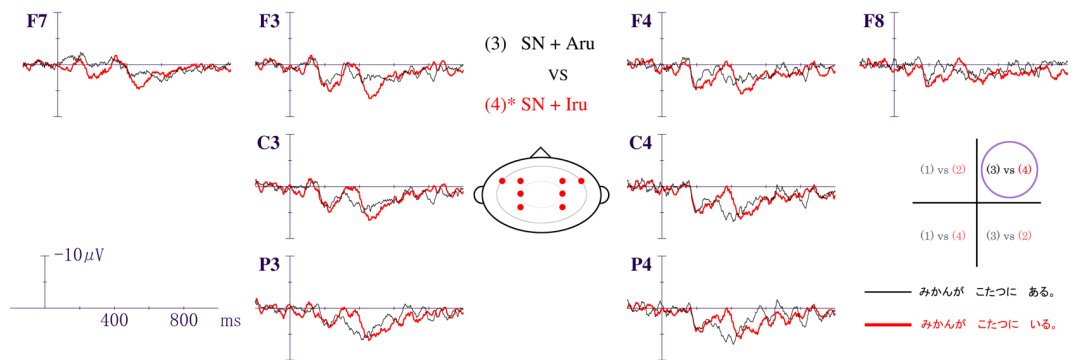
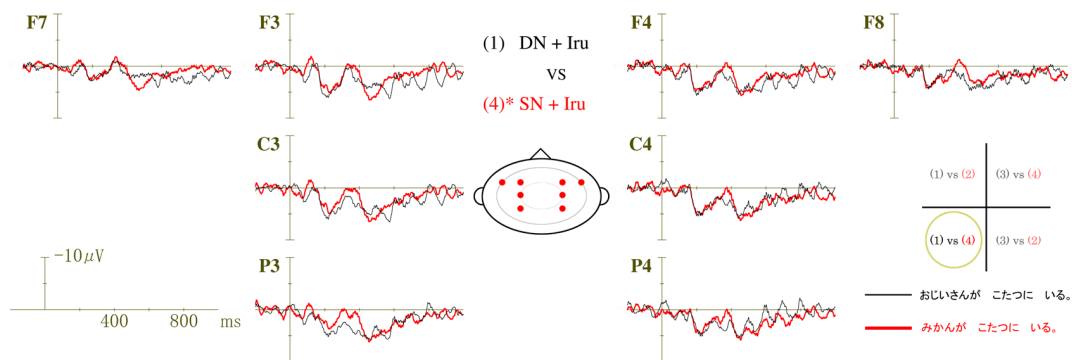
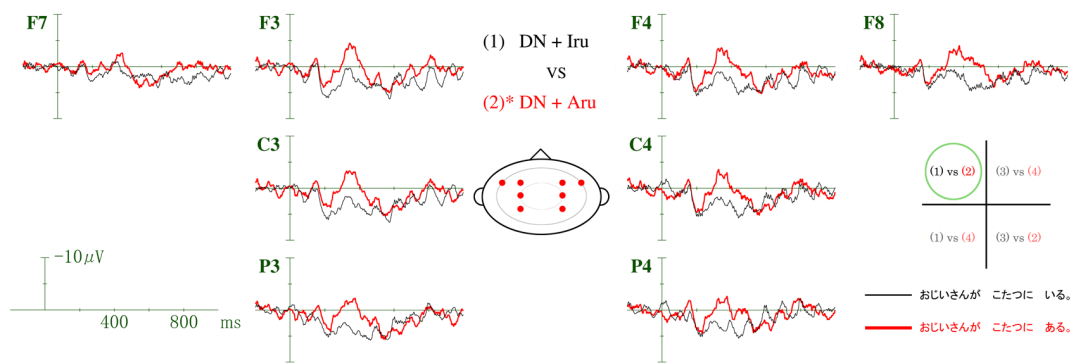


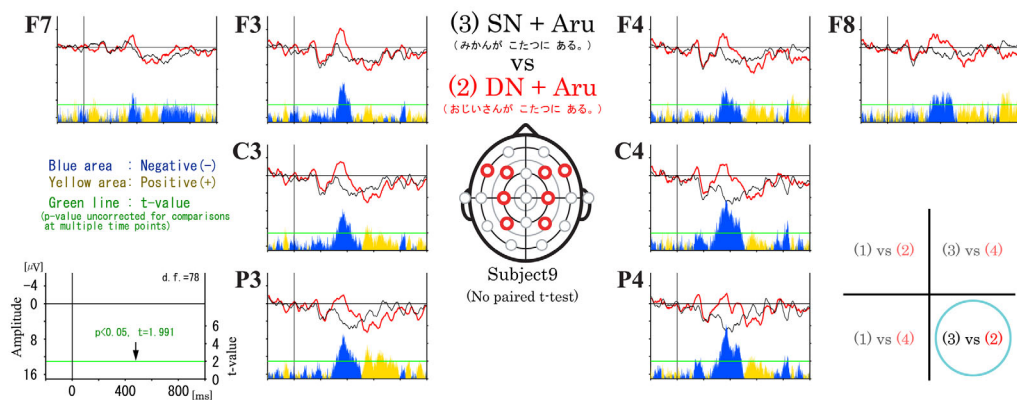
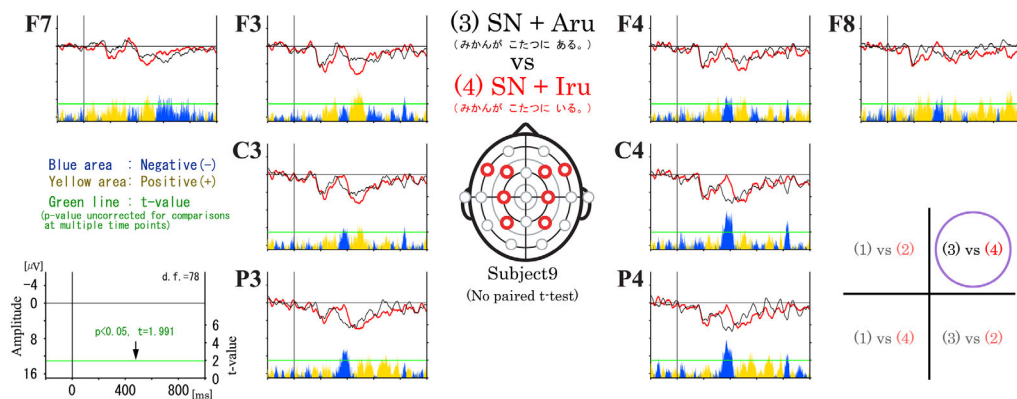
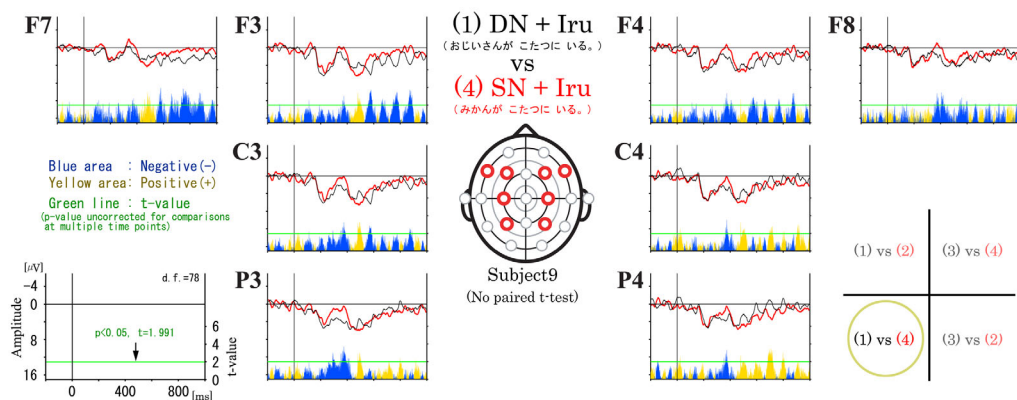
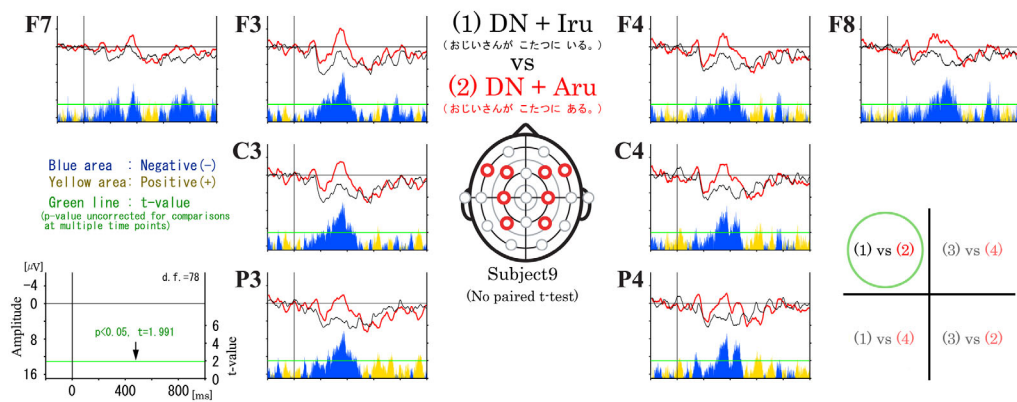


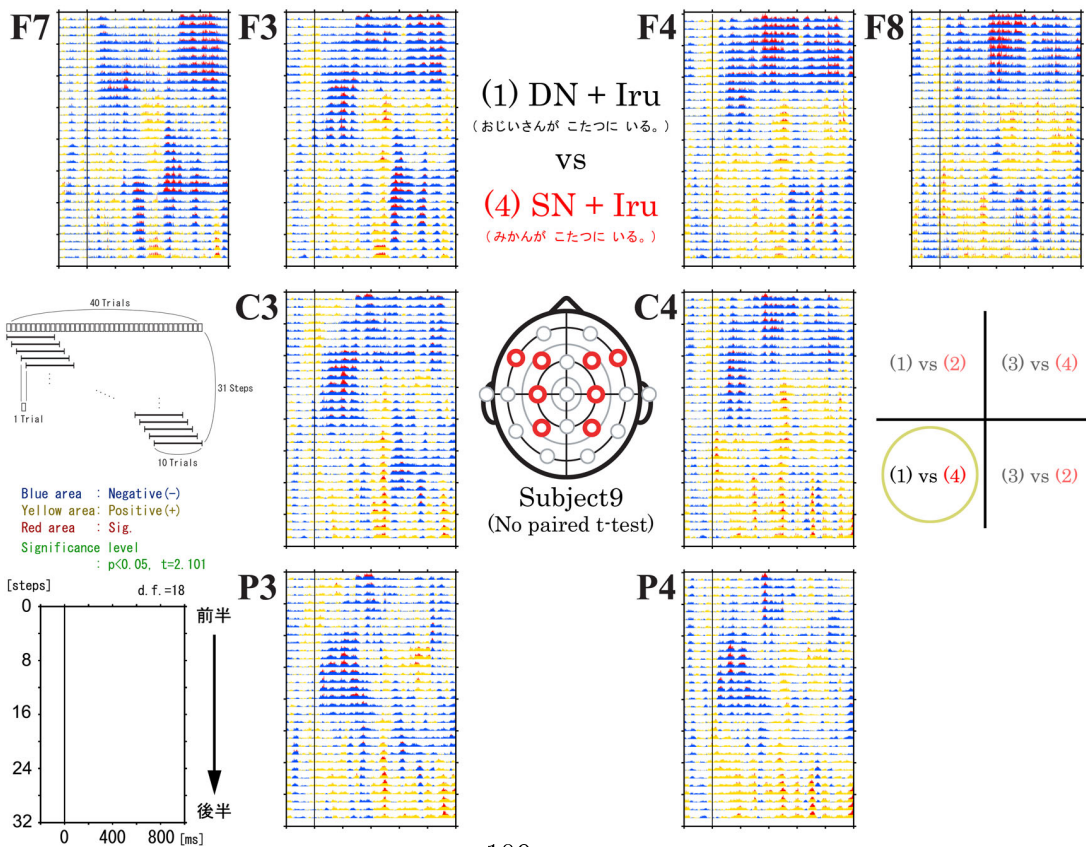
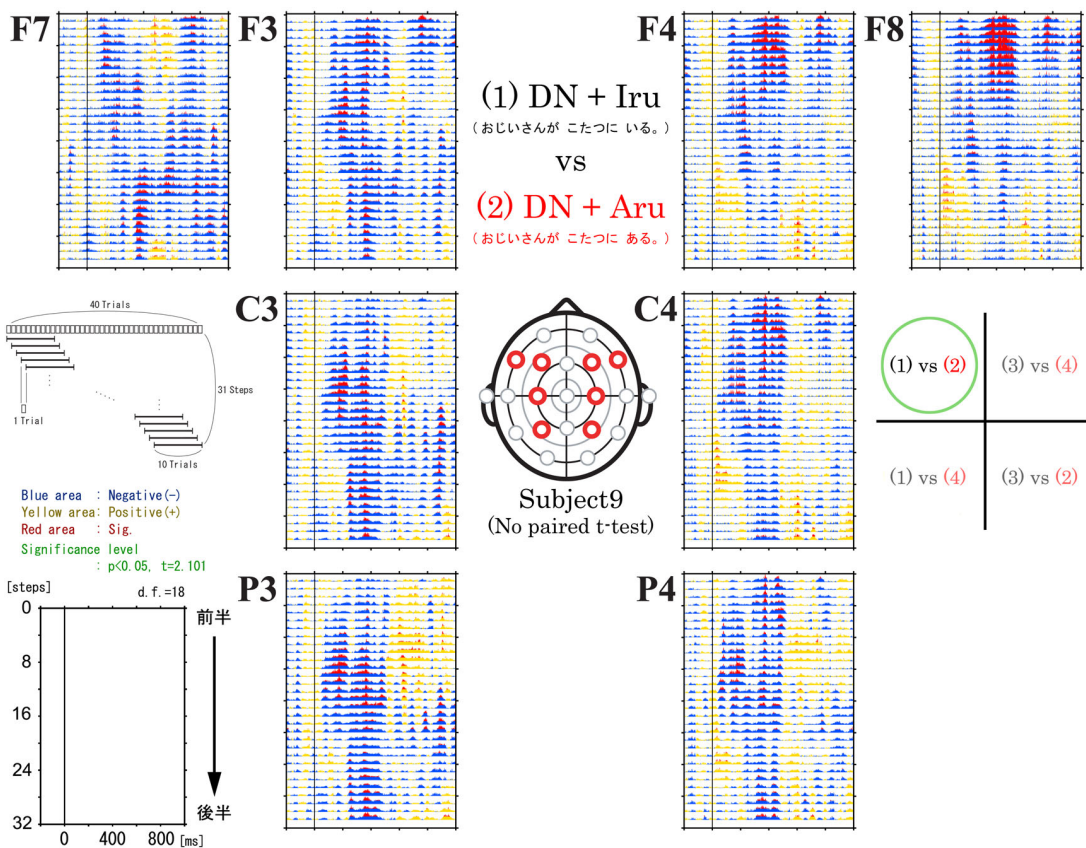


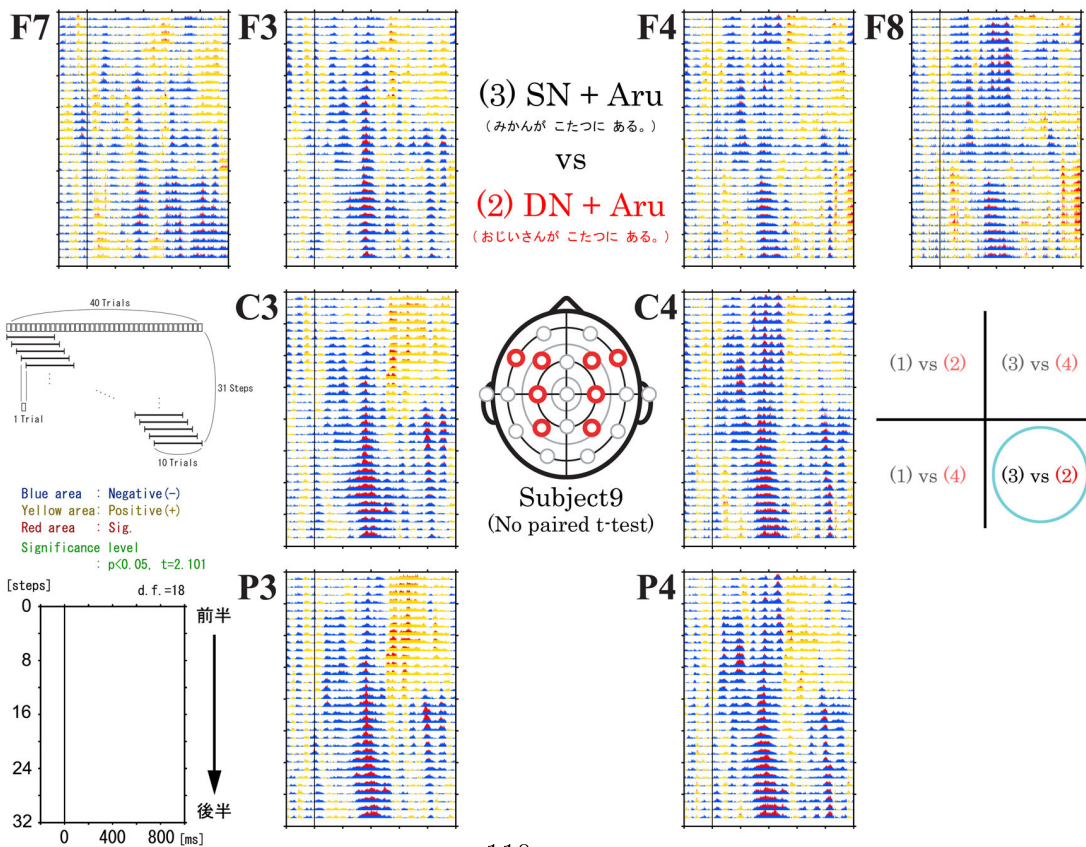
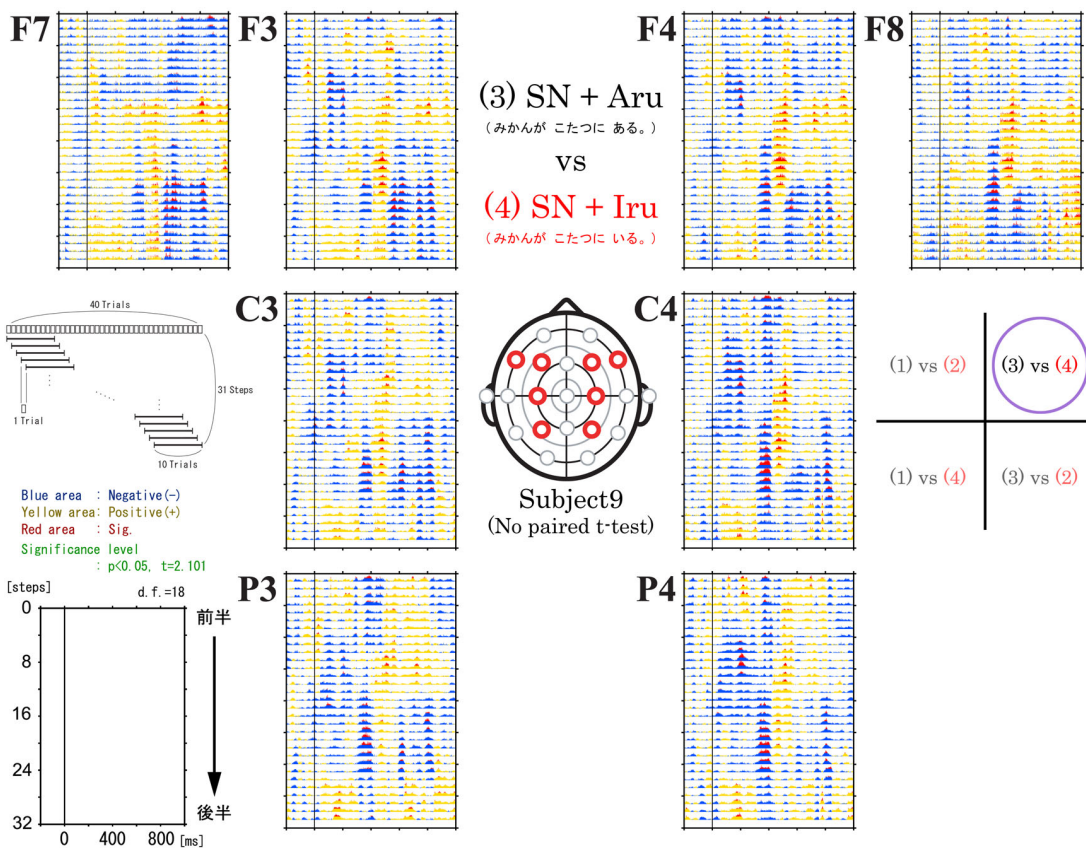


被験者 9

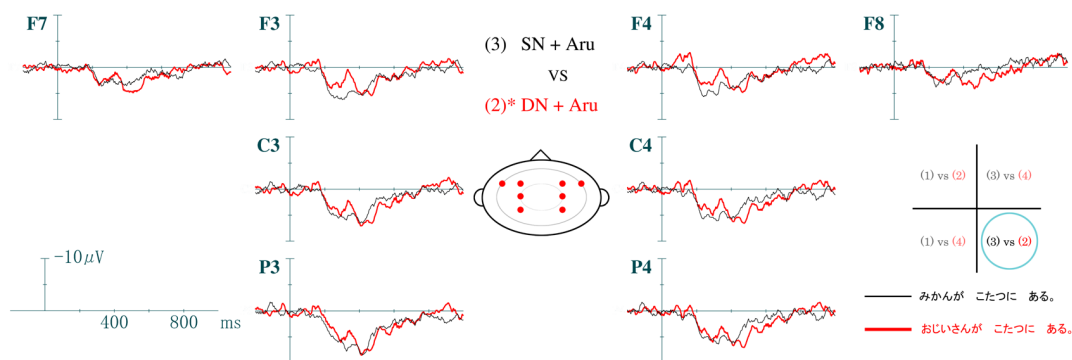
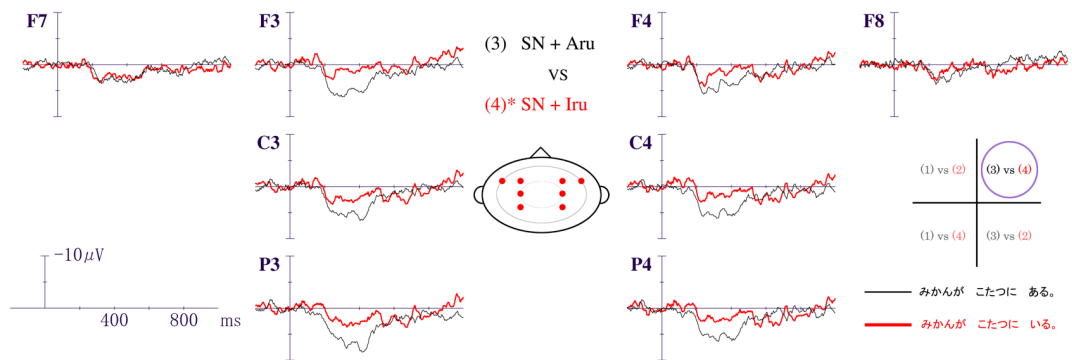
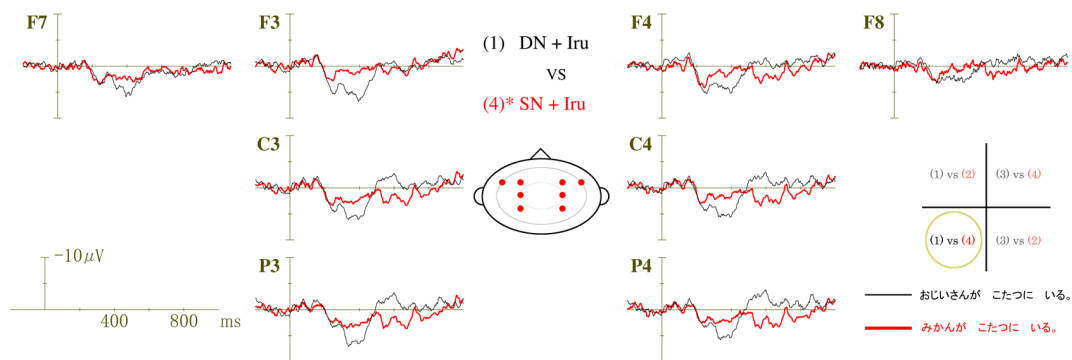
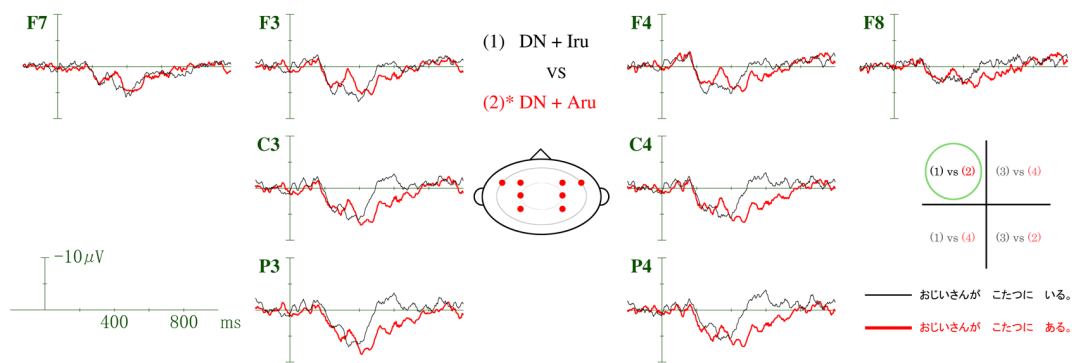


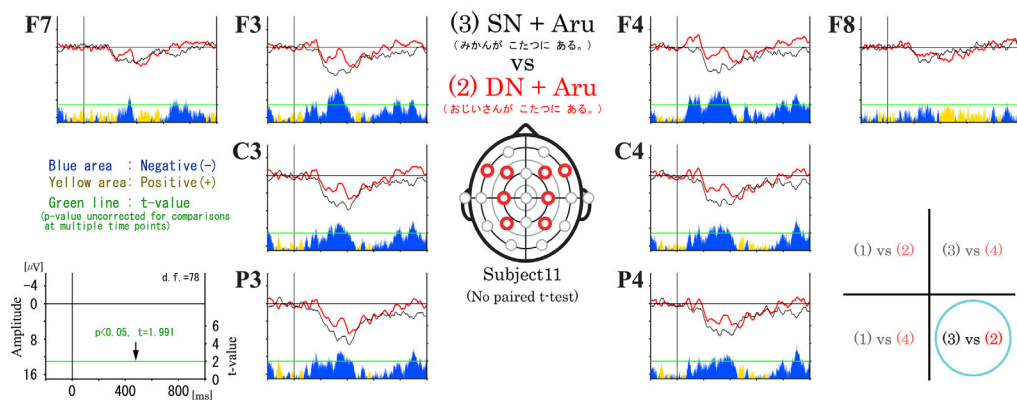
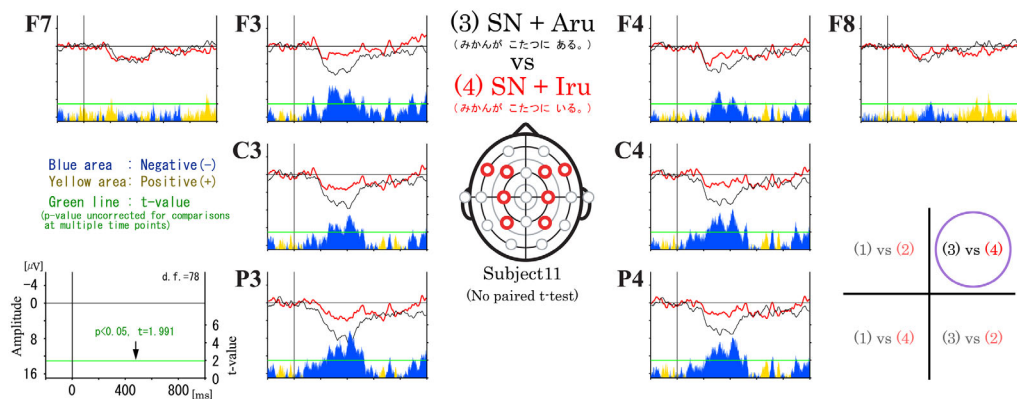
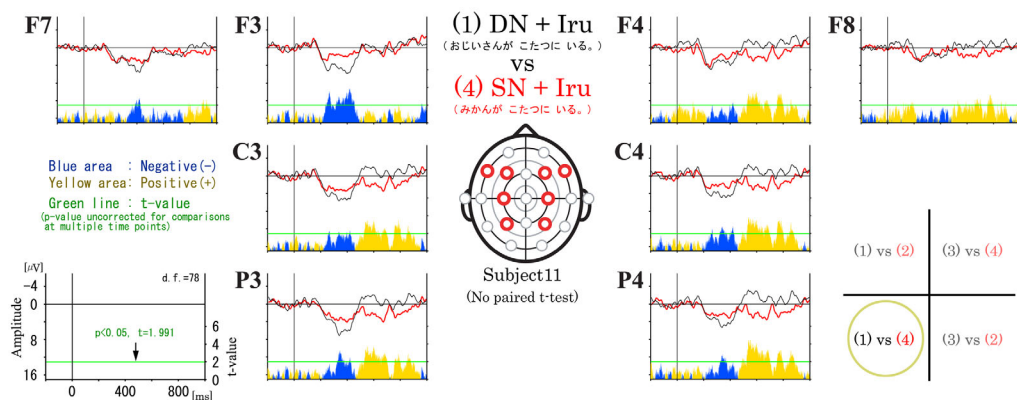
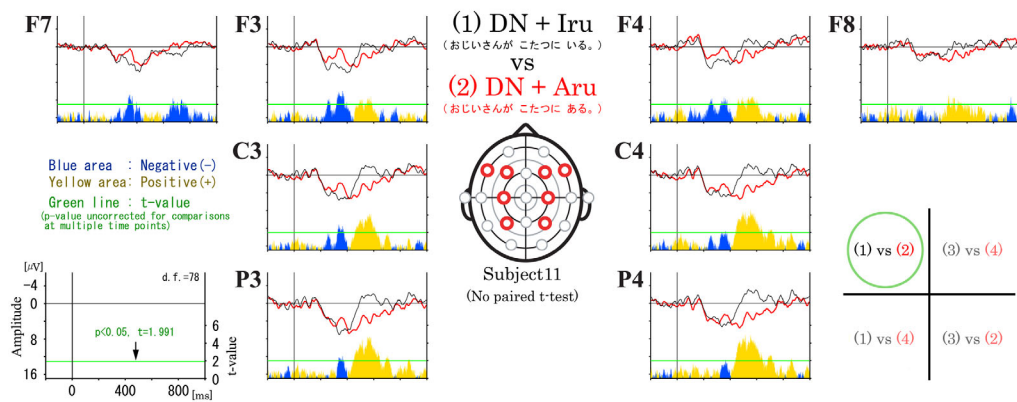


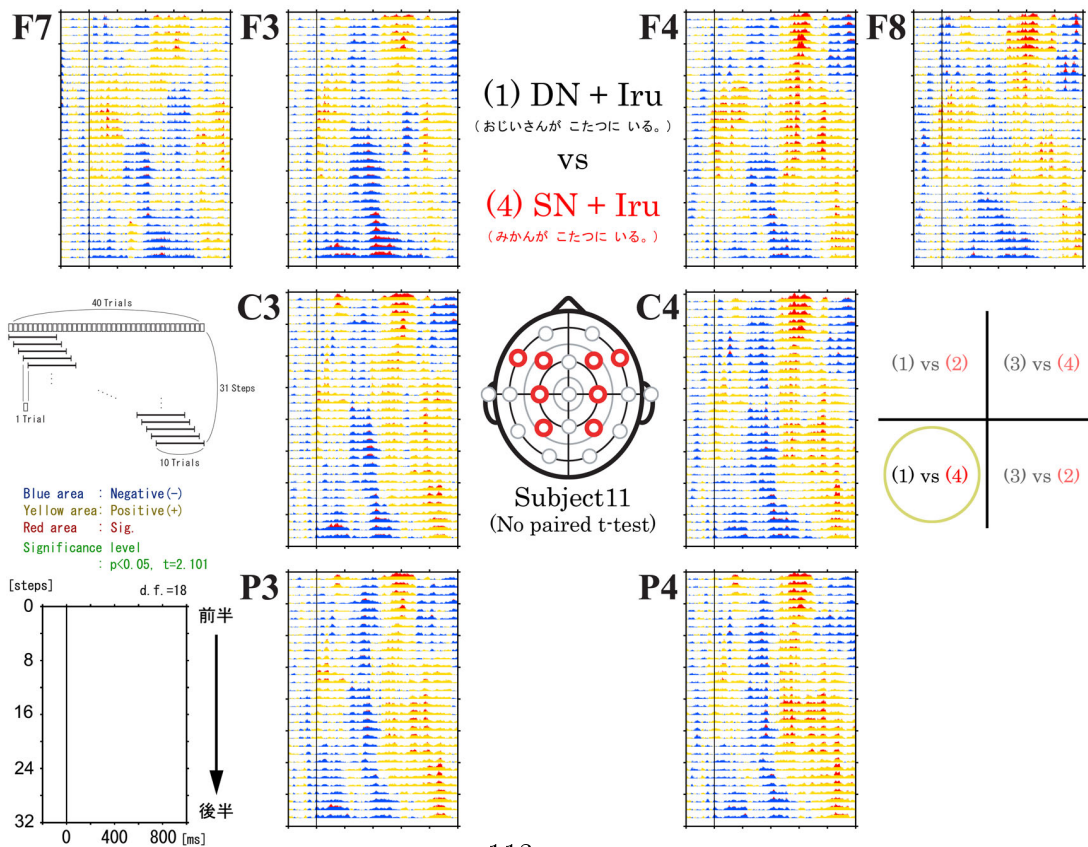
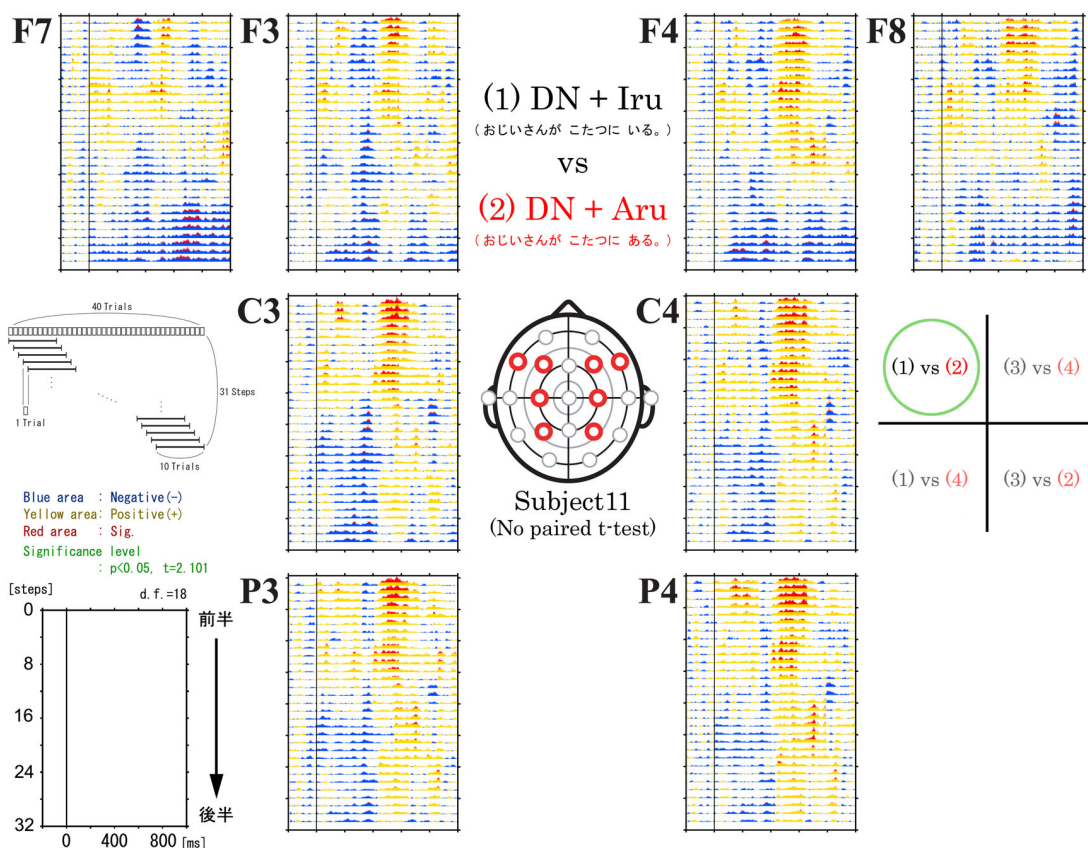


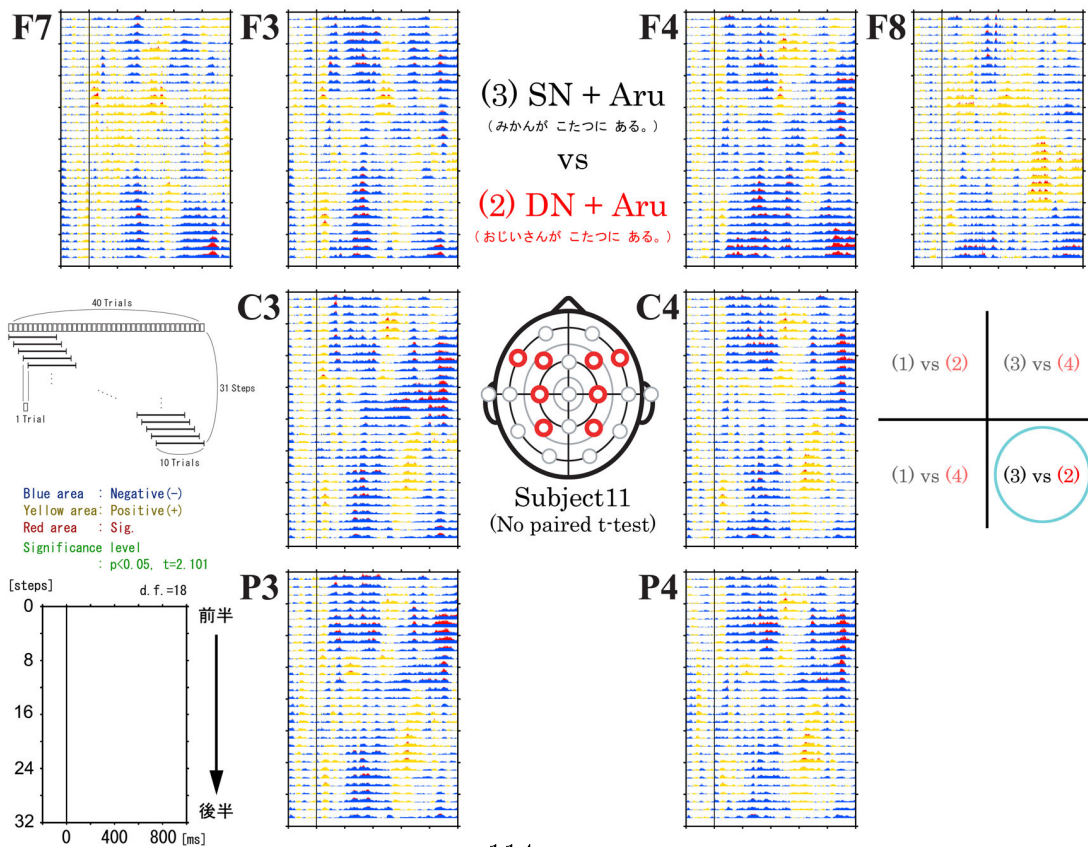
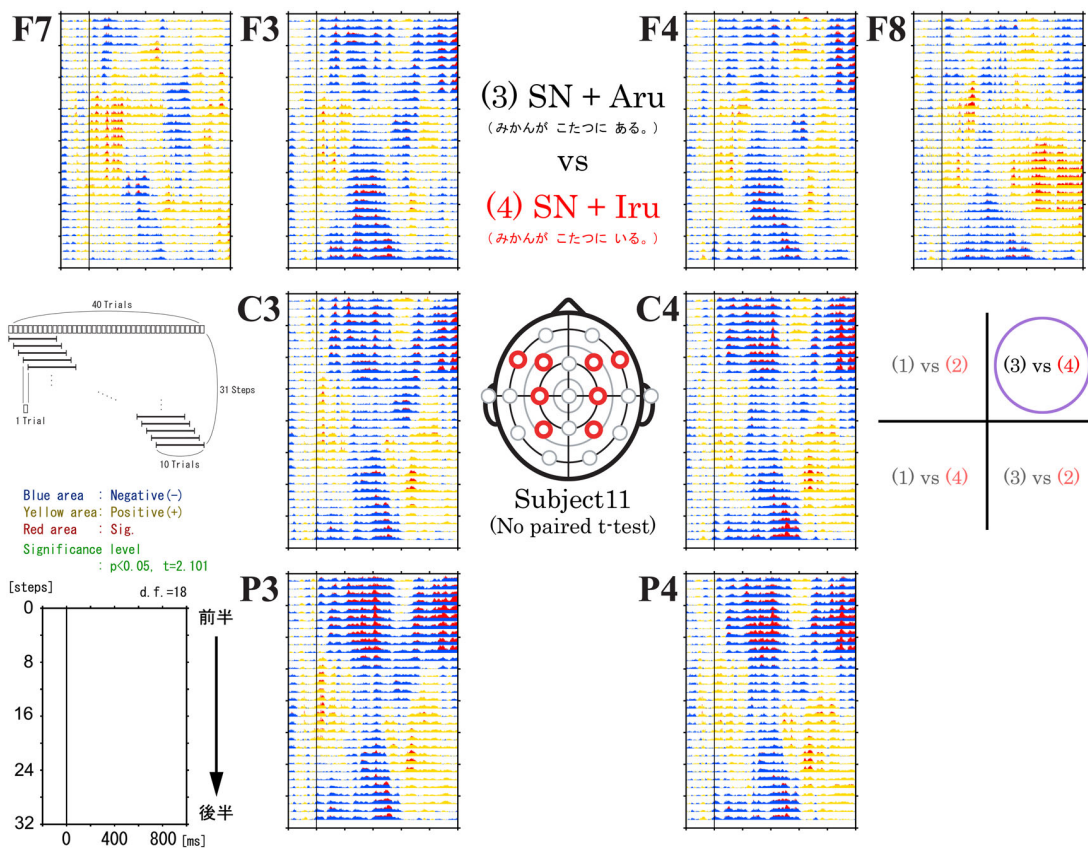


被験者 11

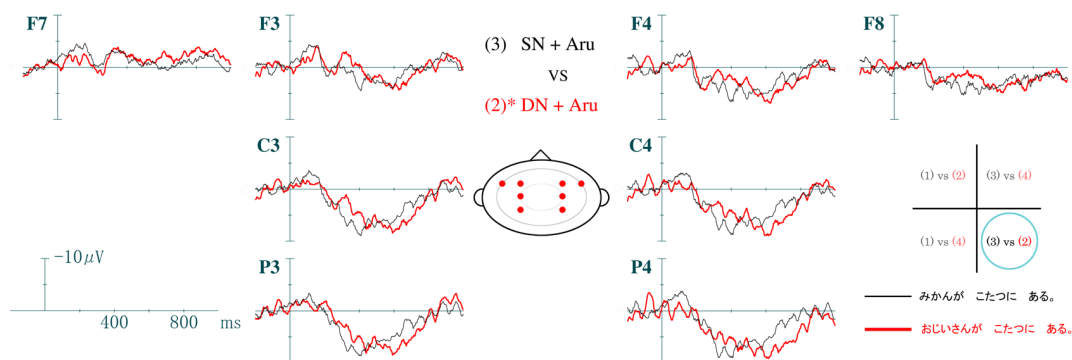
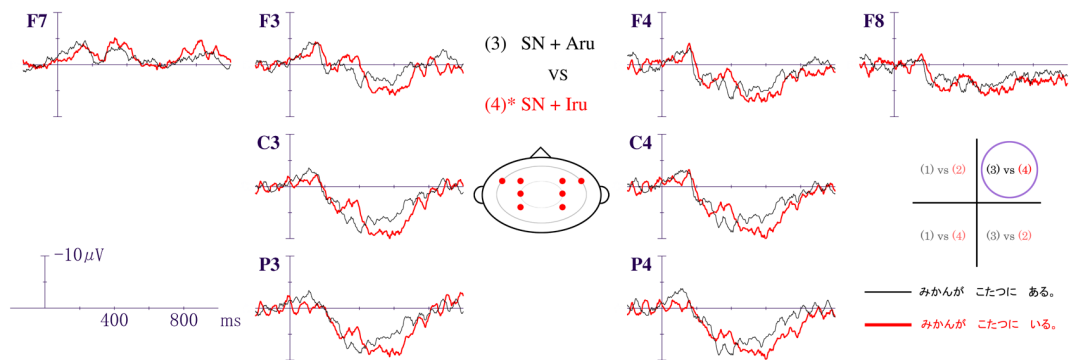
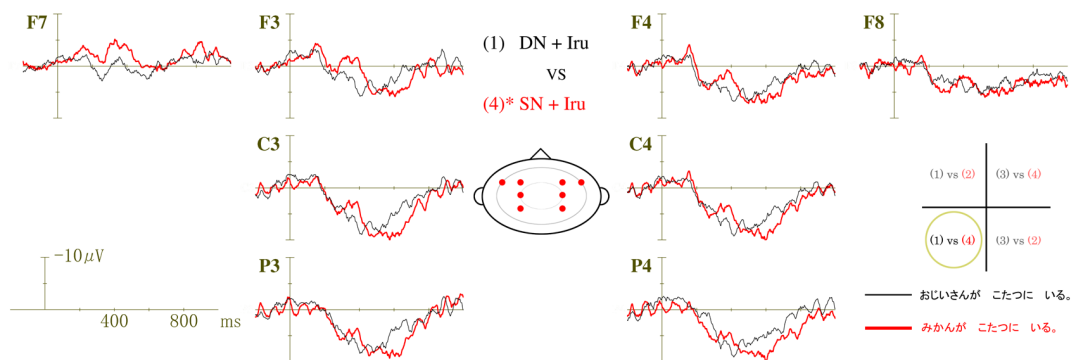
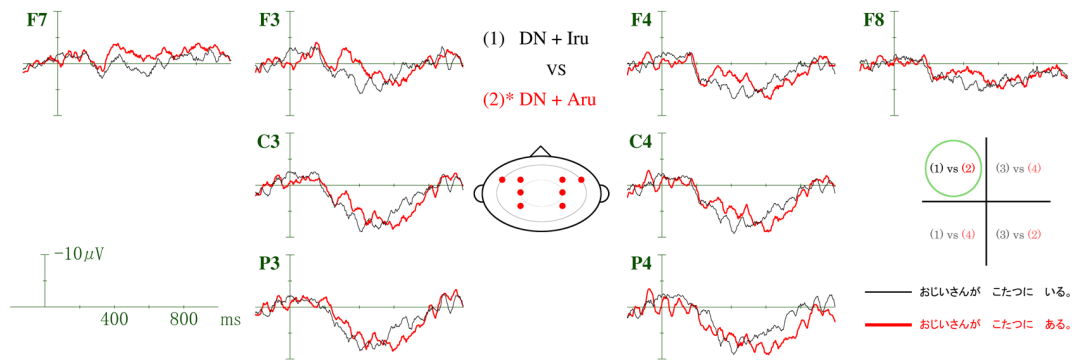


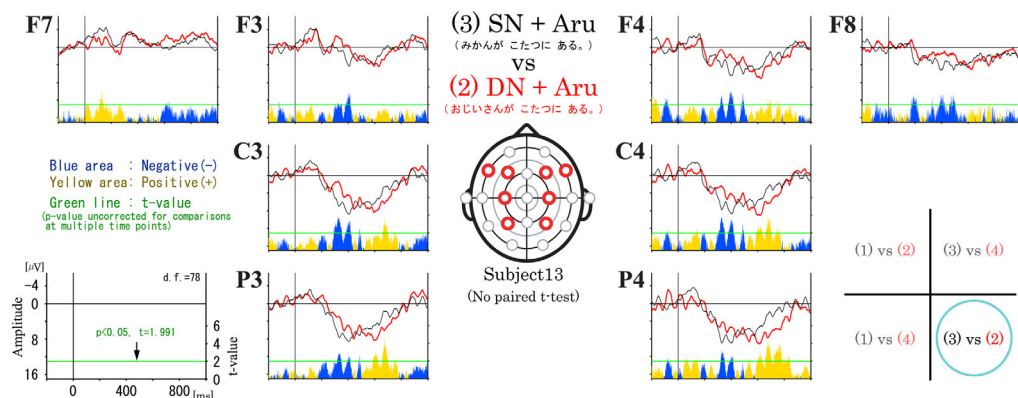
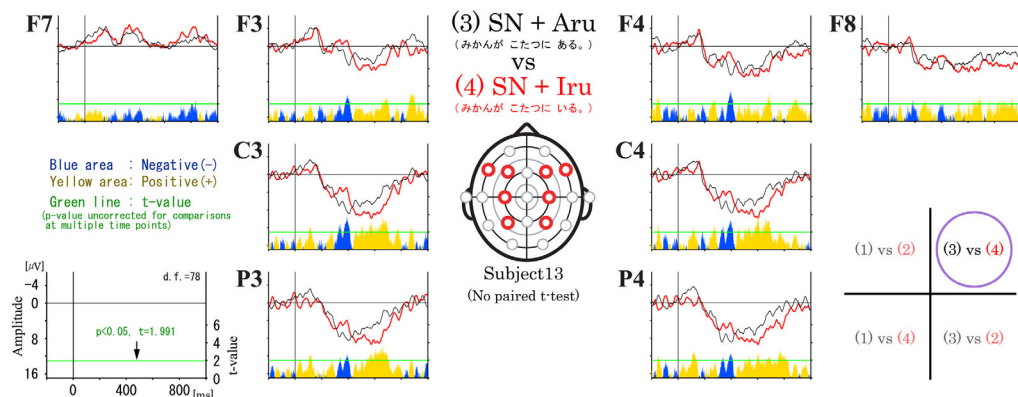
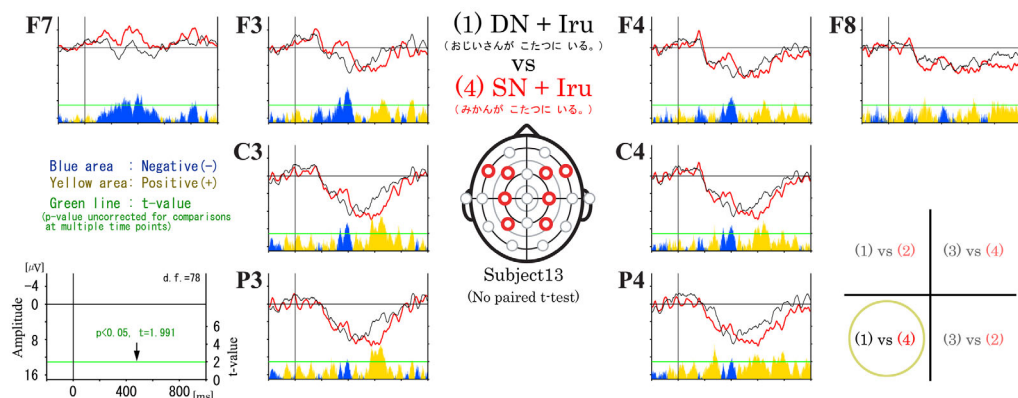
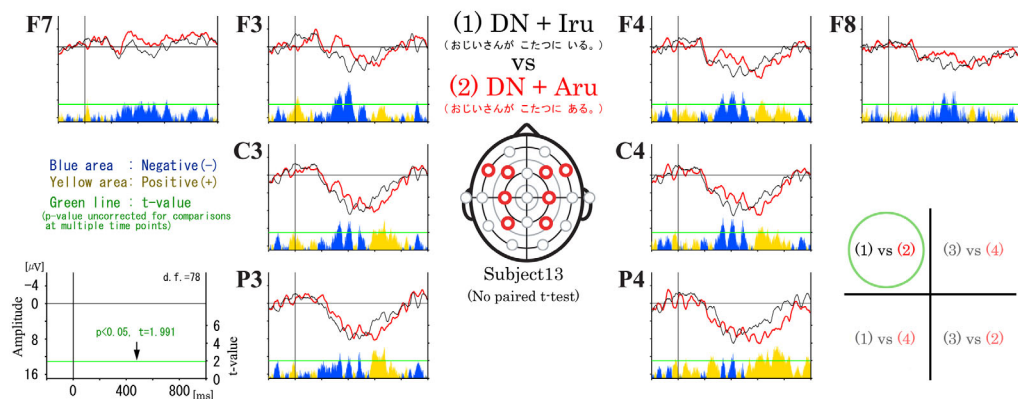


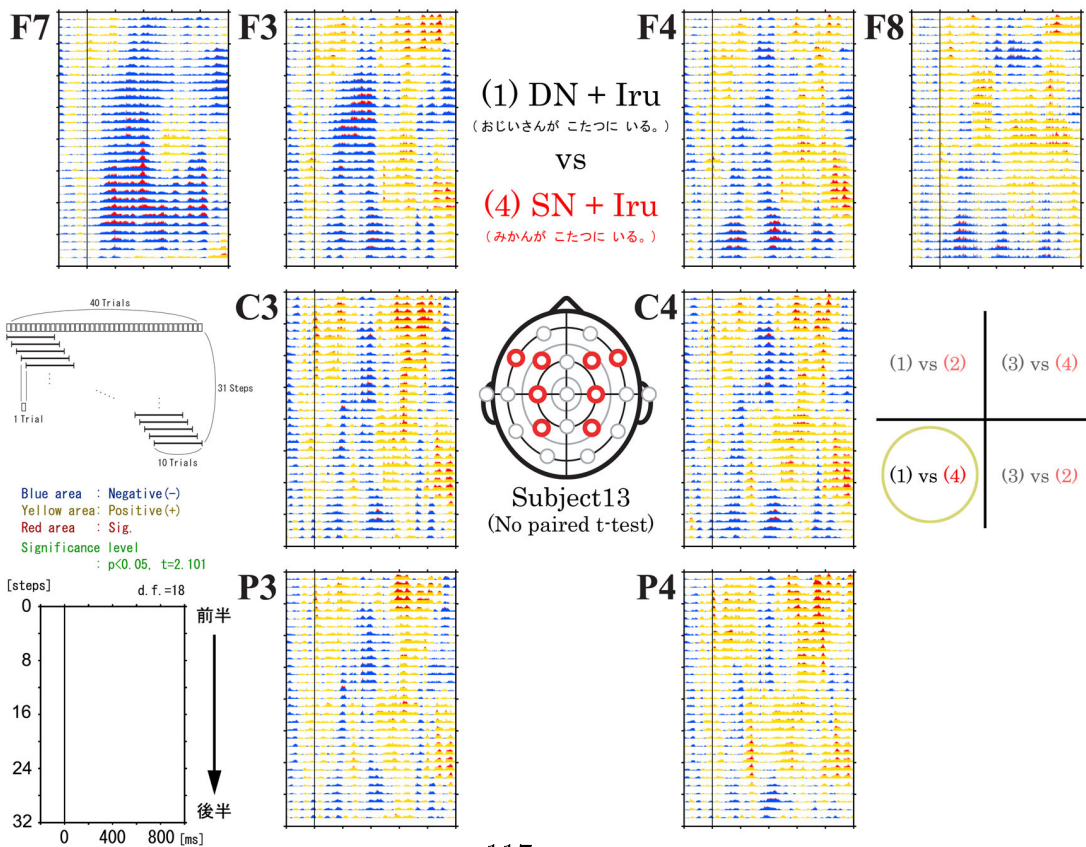
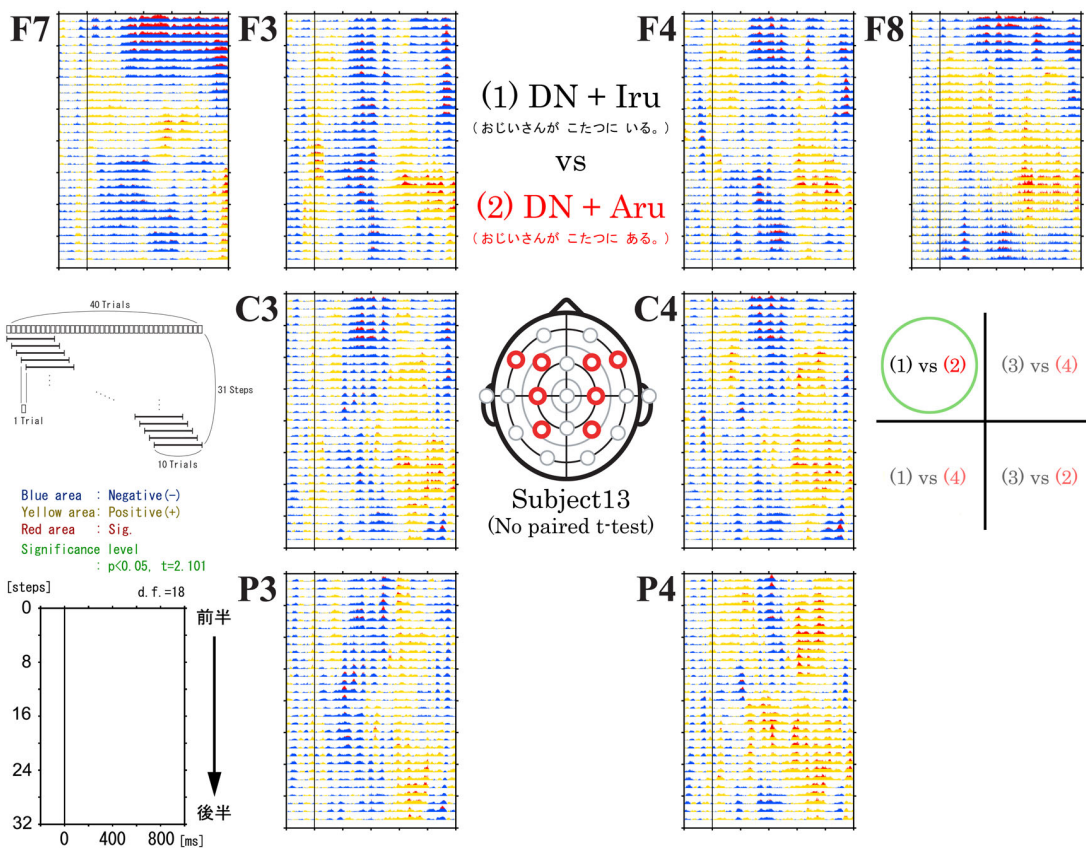


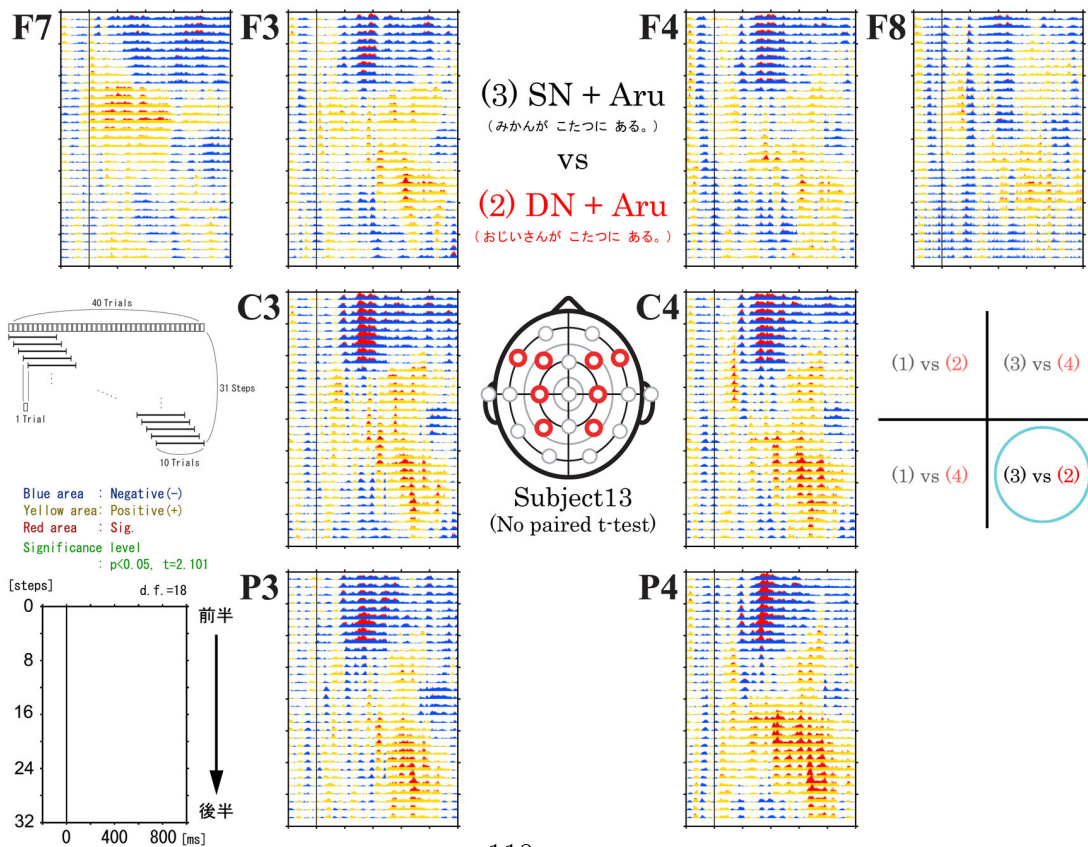
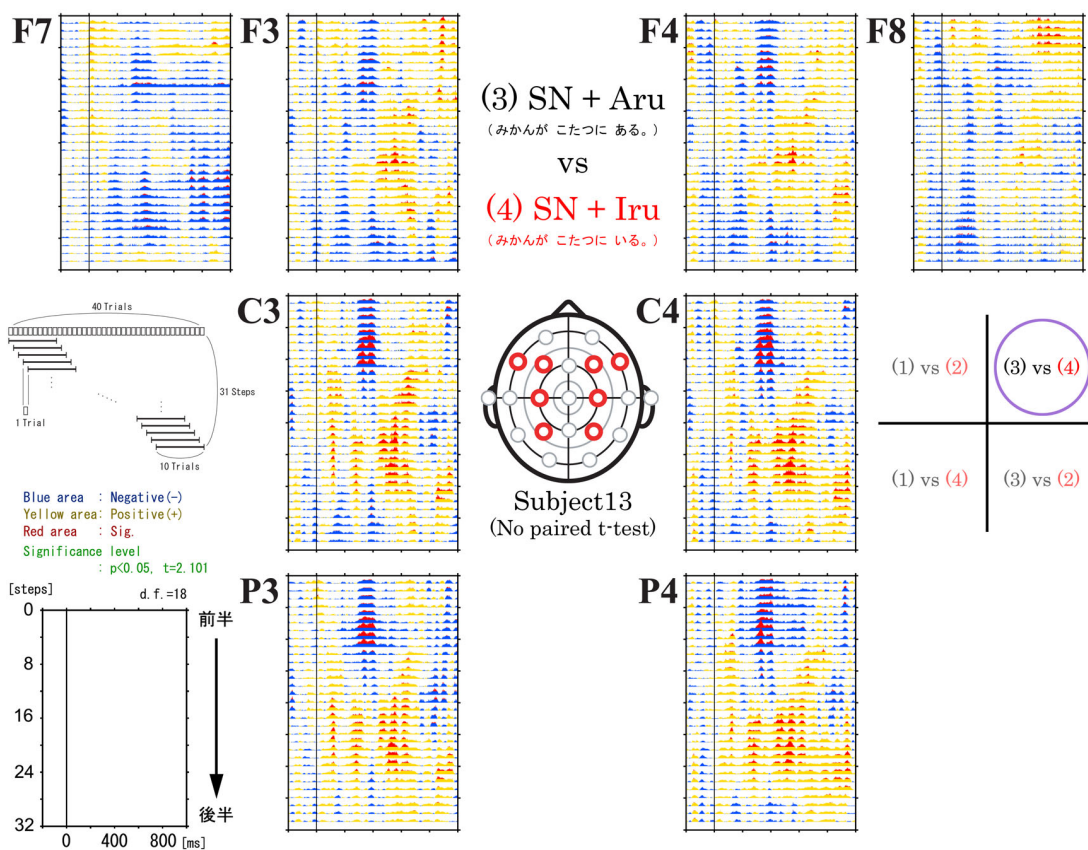


被験者 13

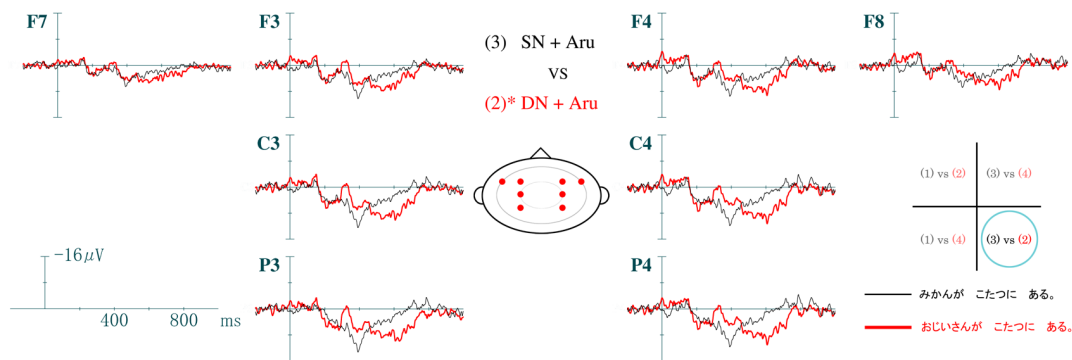
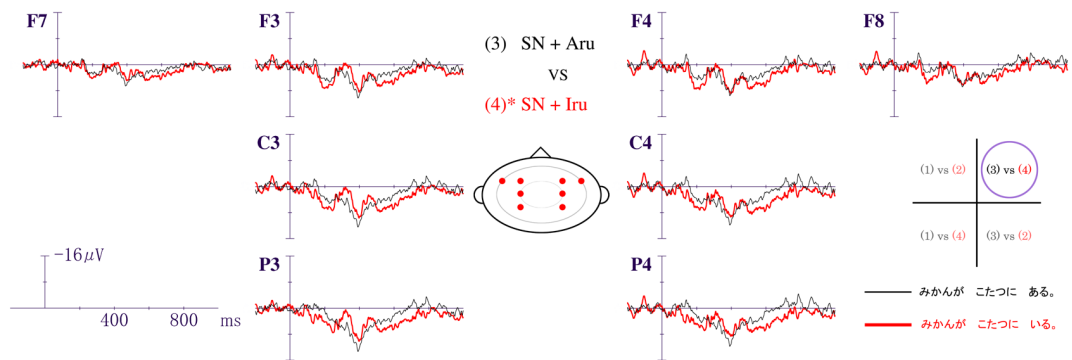
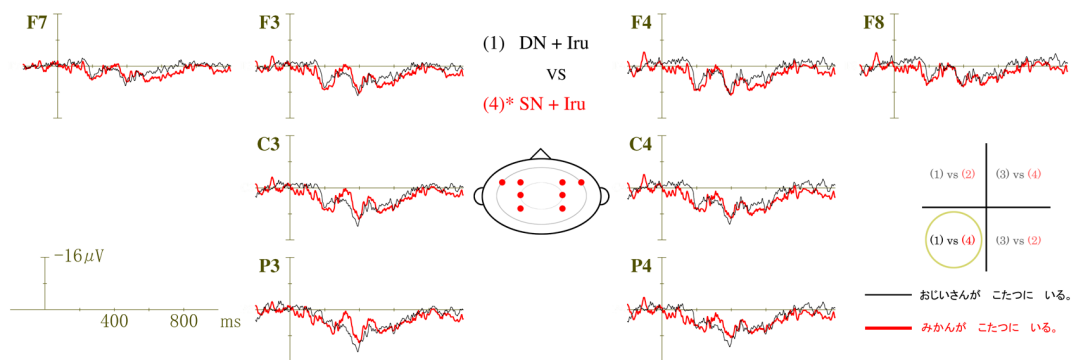
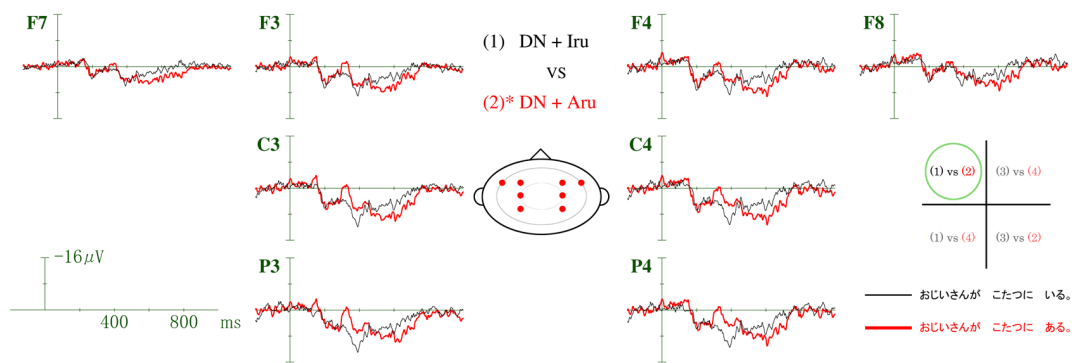


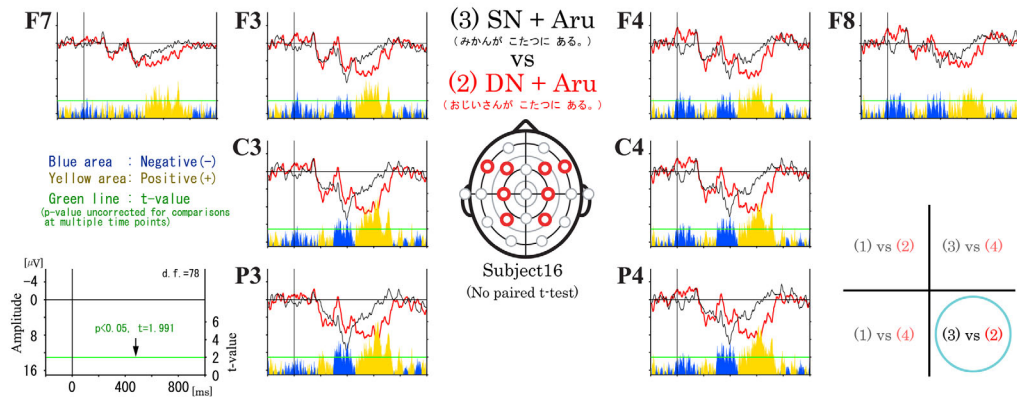
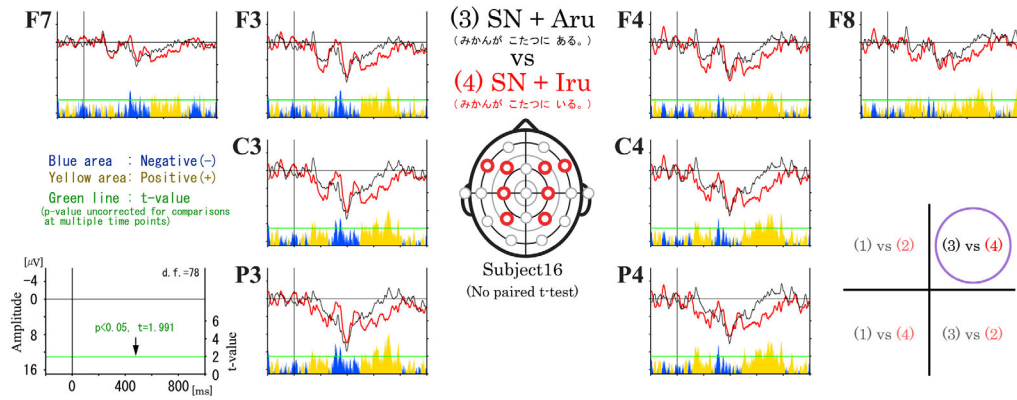
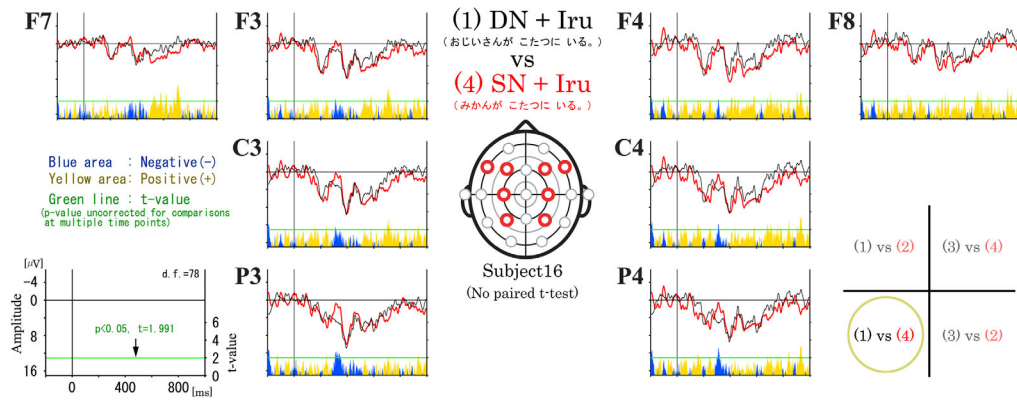
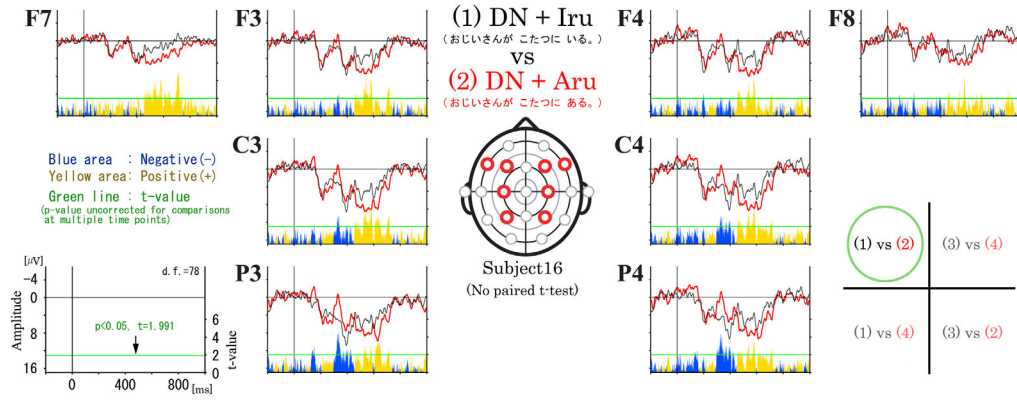


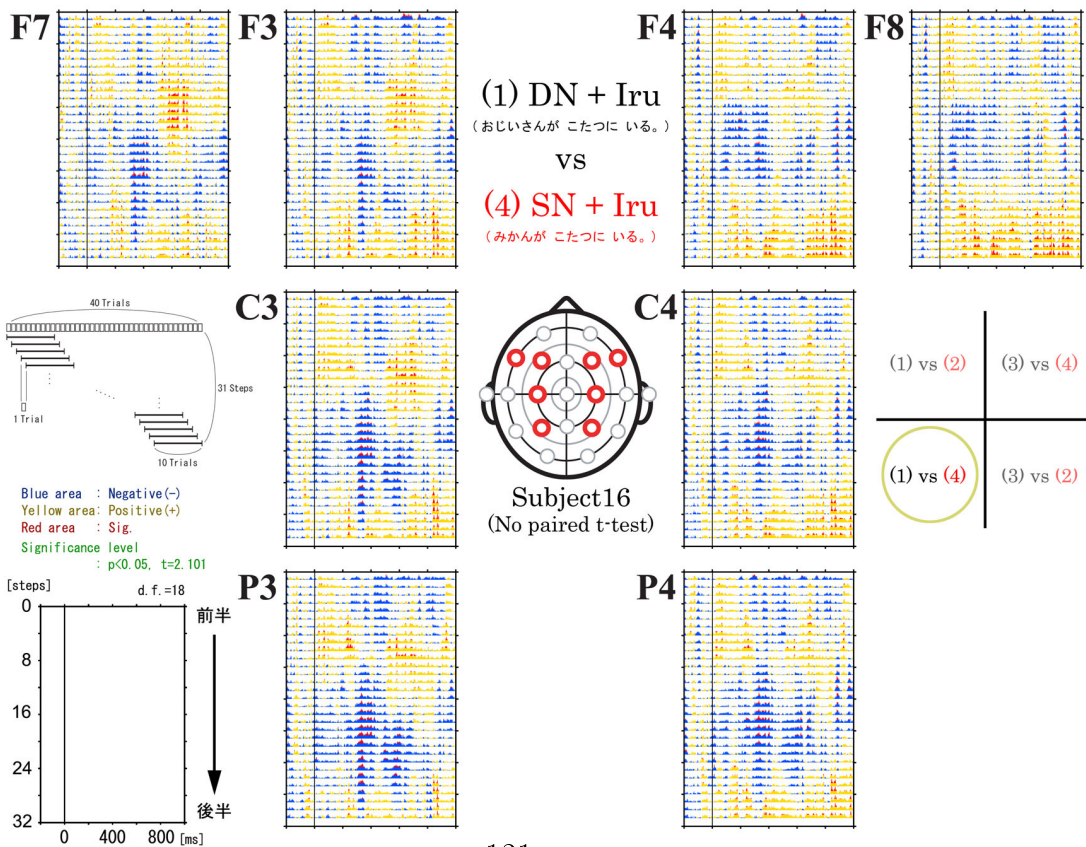
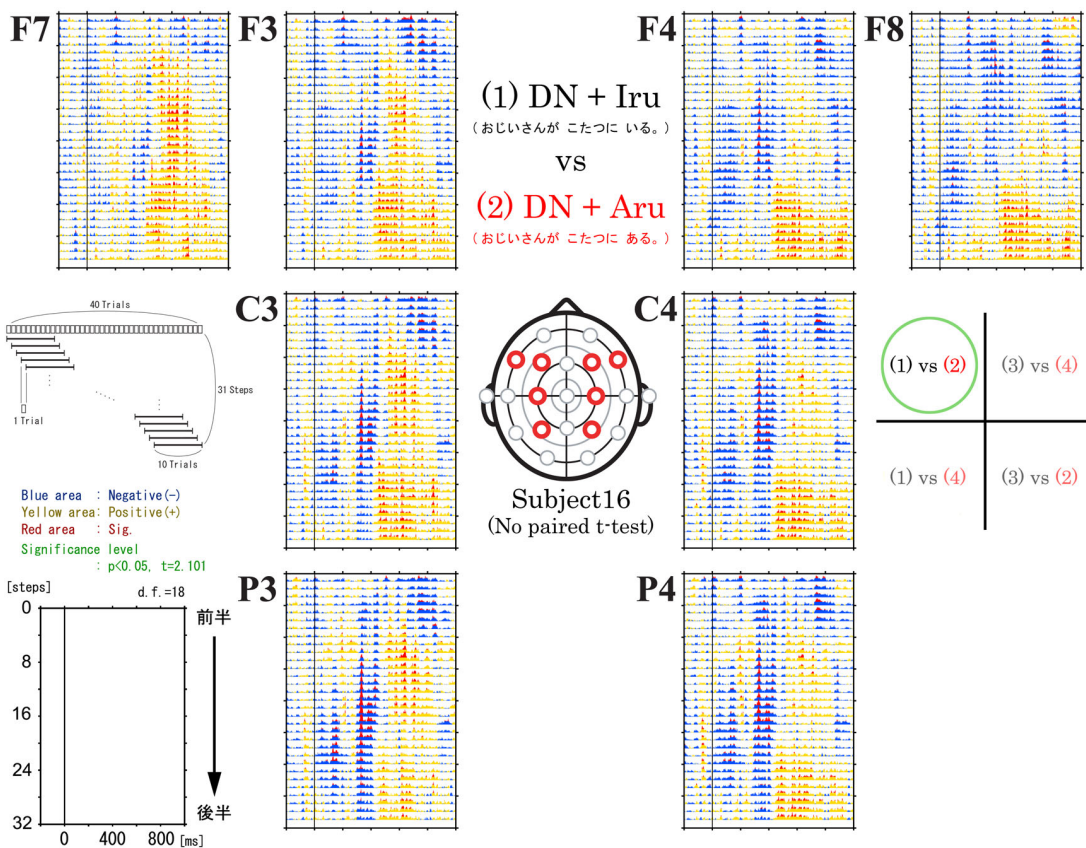


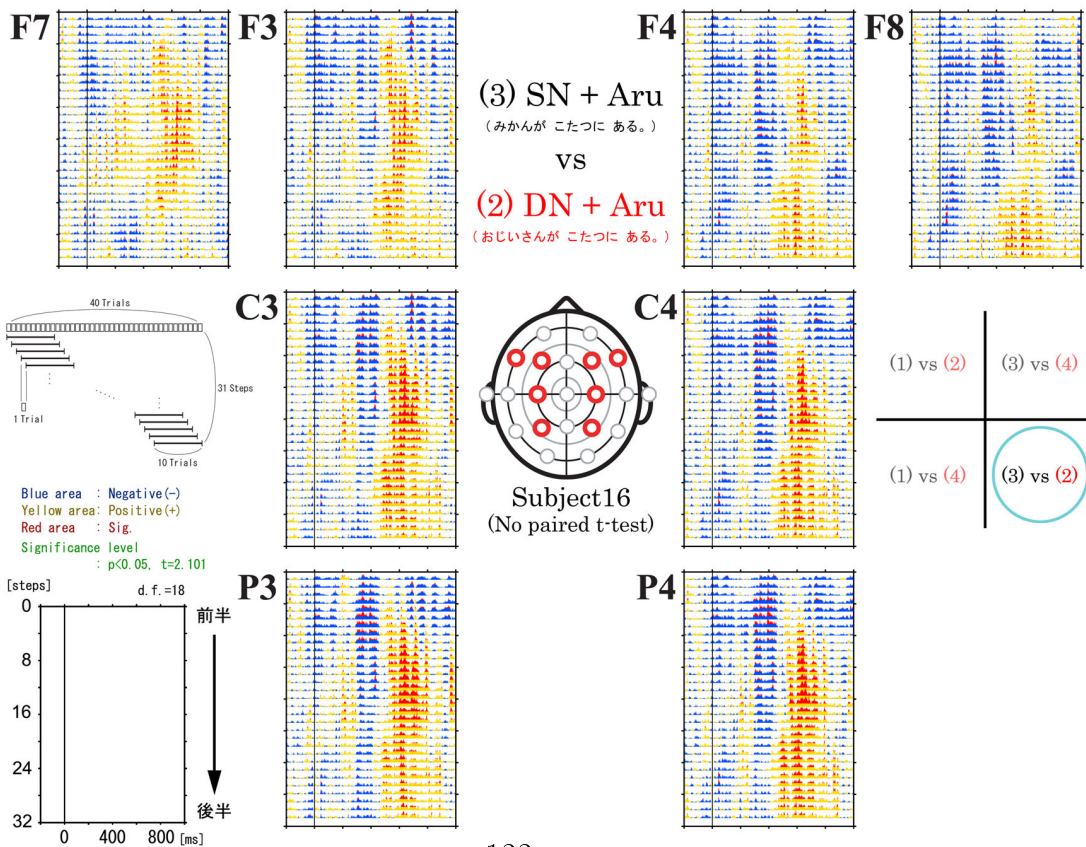
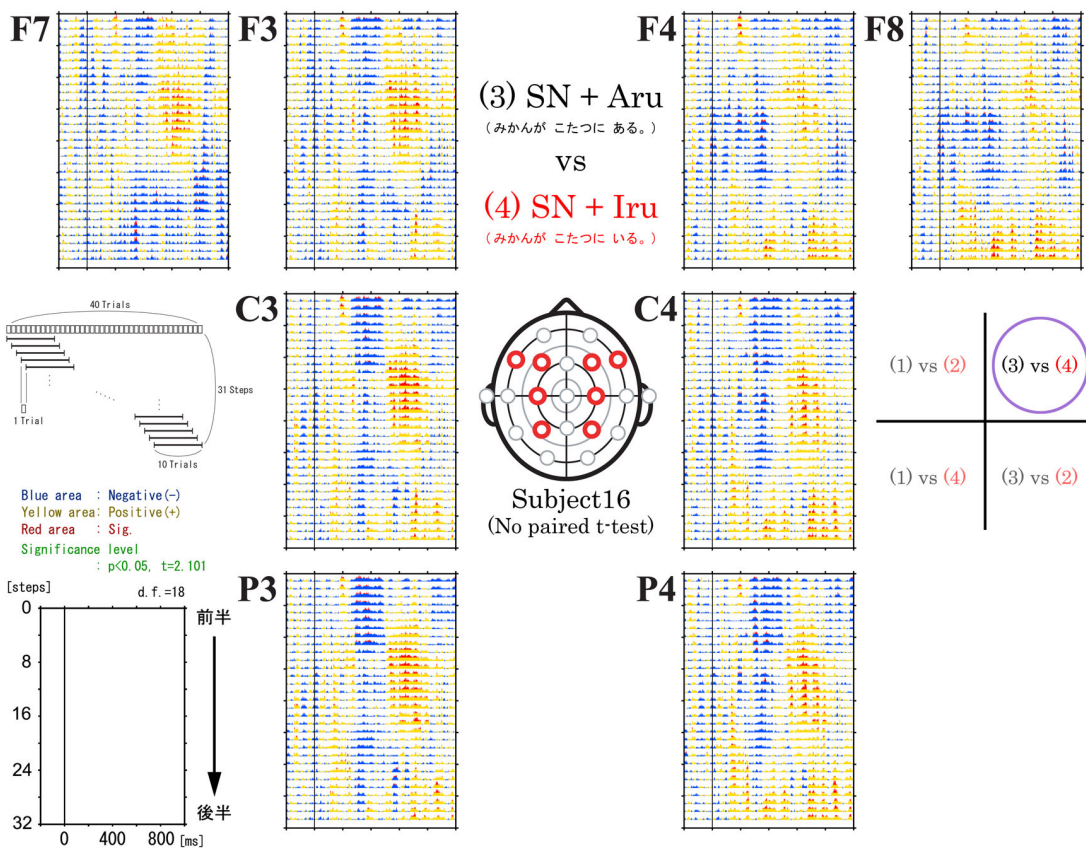


被験者 16

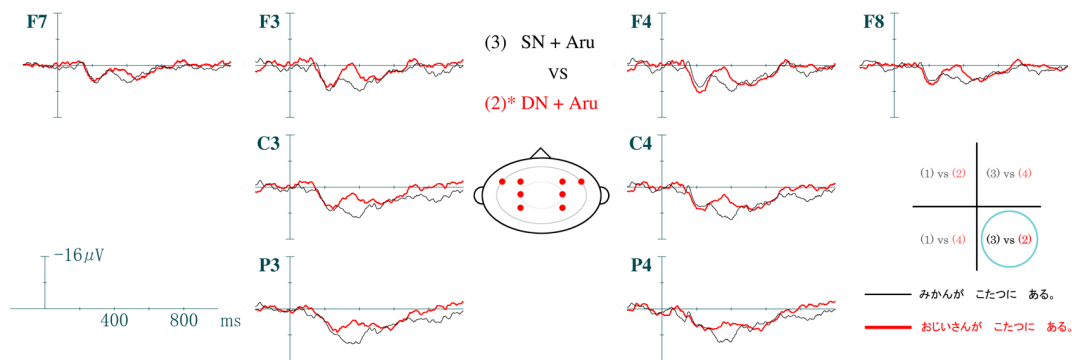
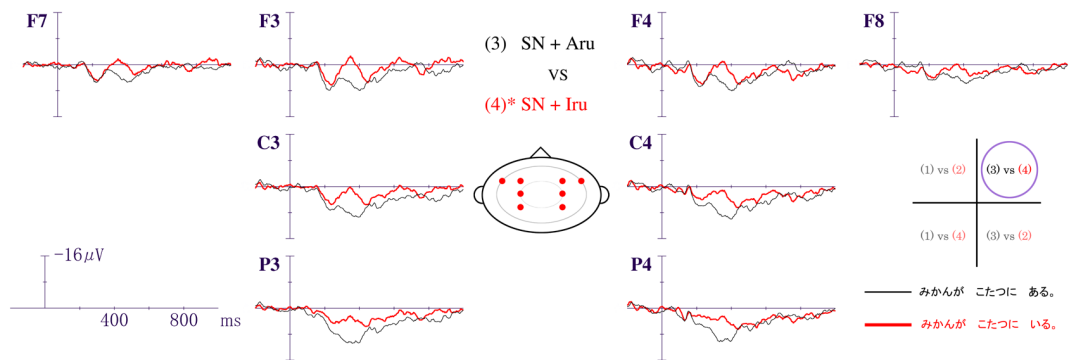
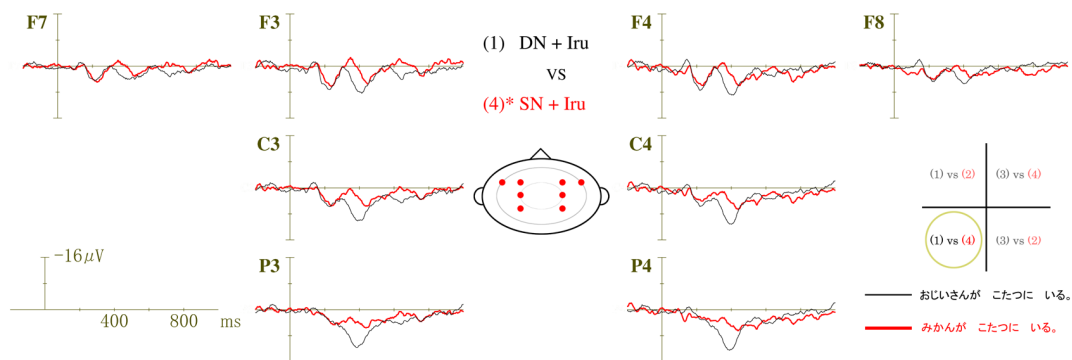
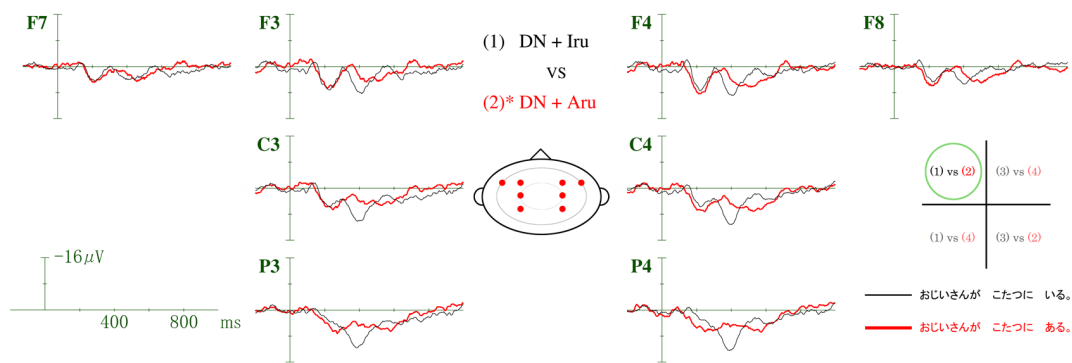


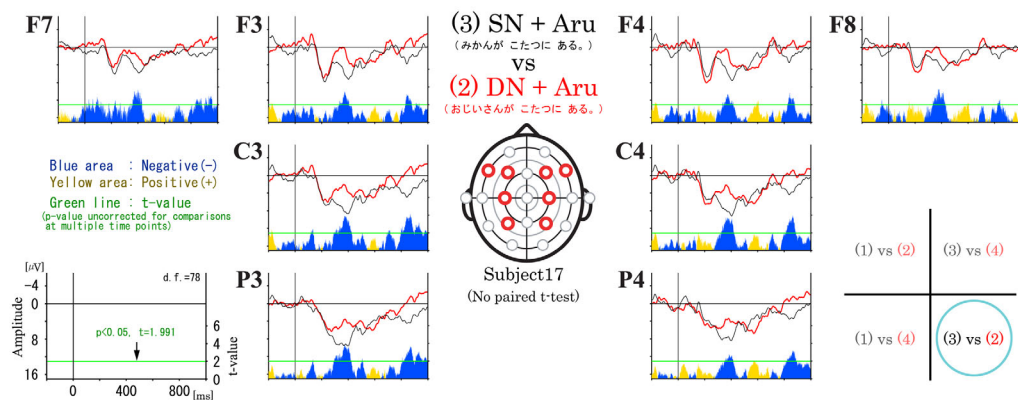
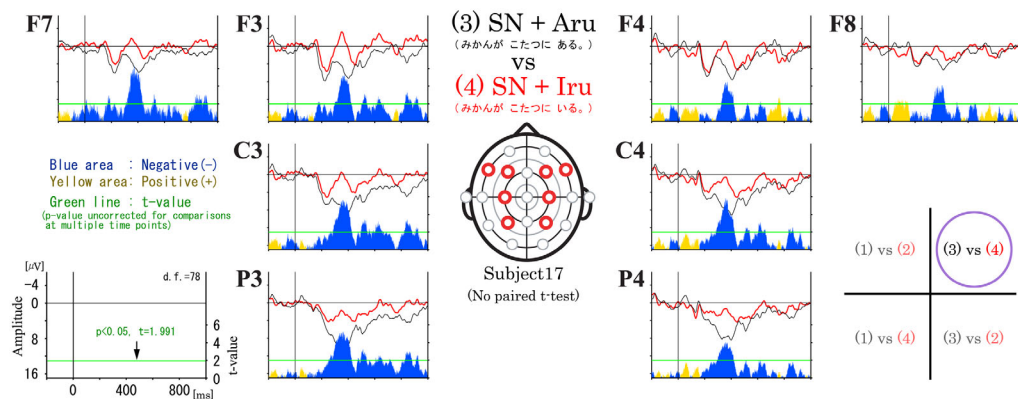
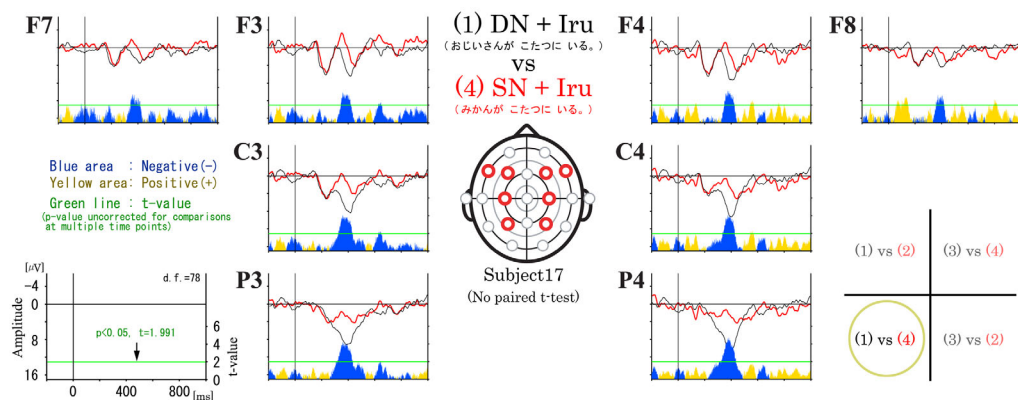
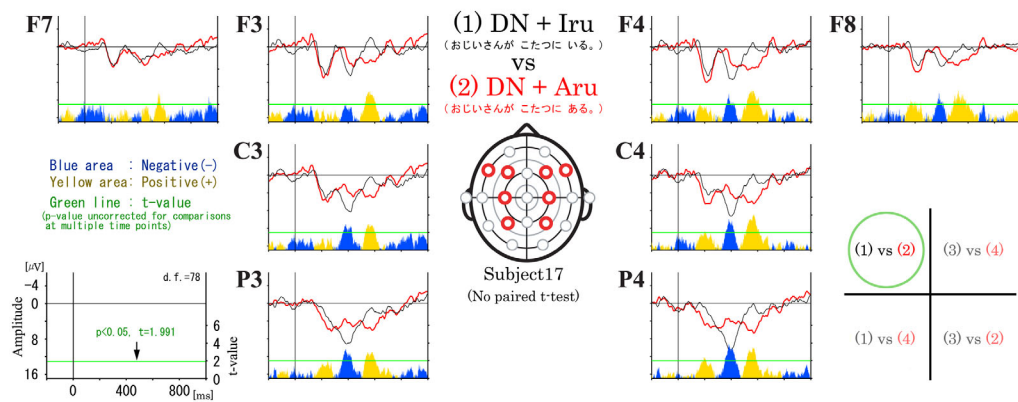


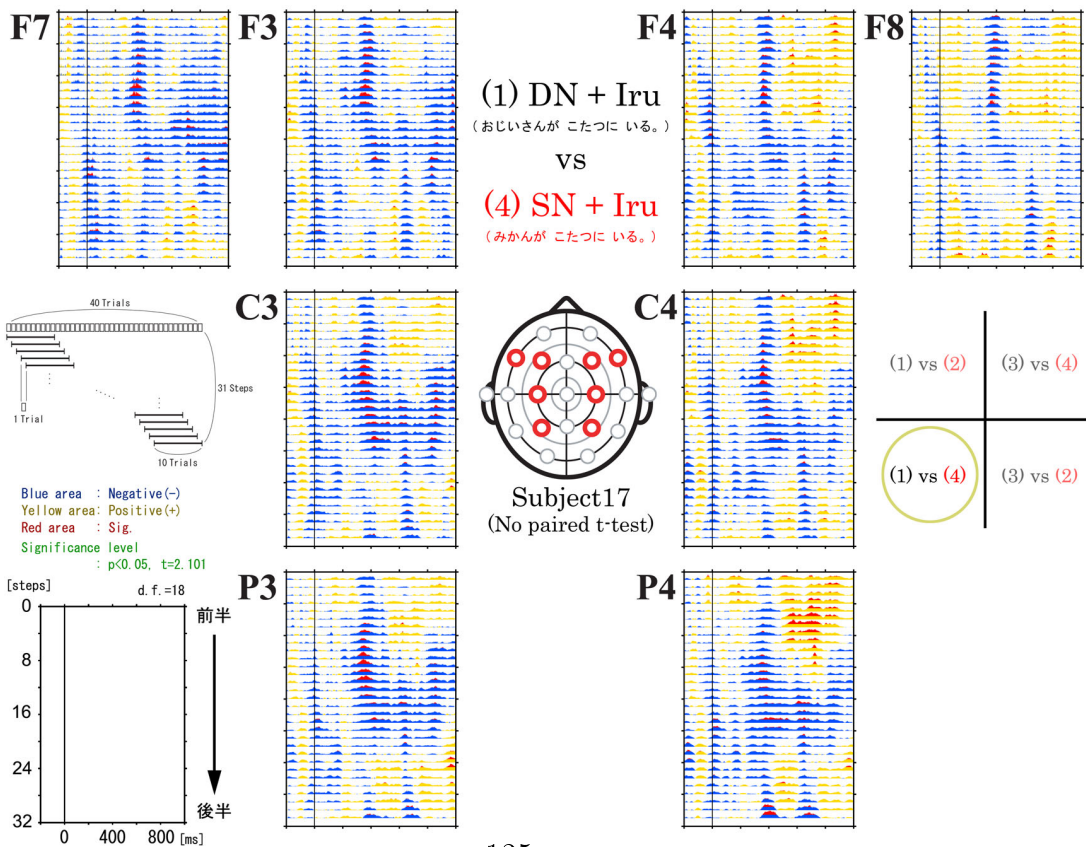
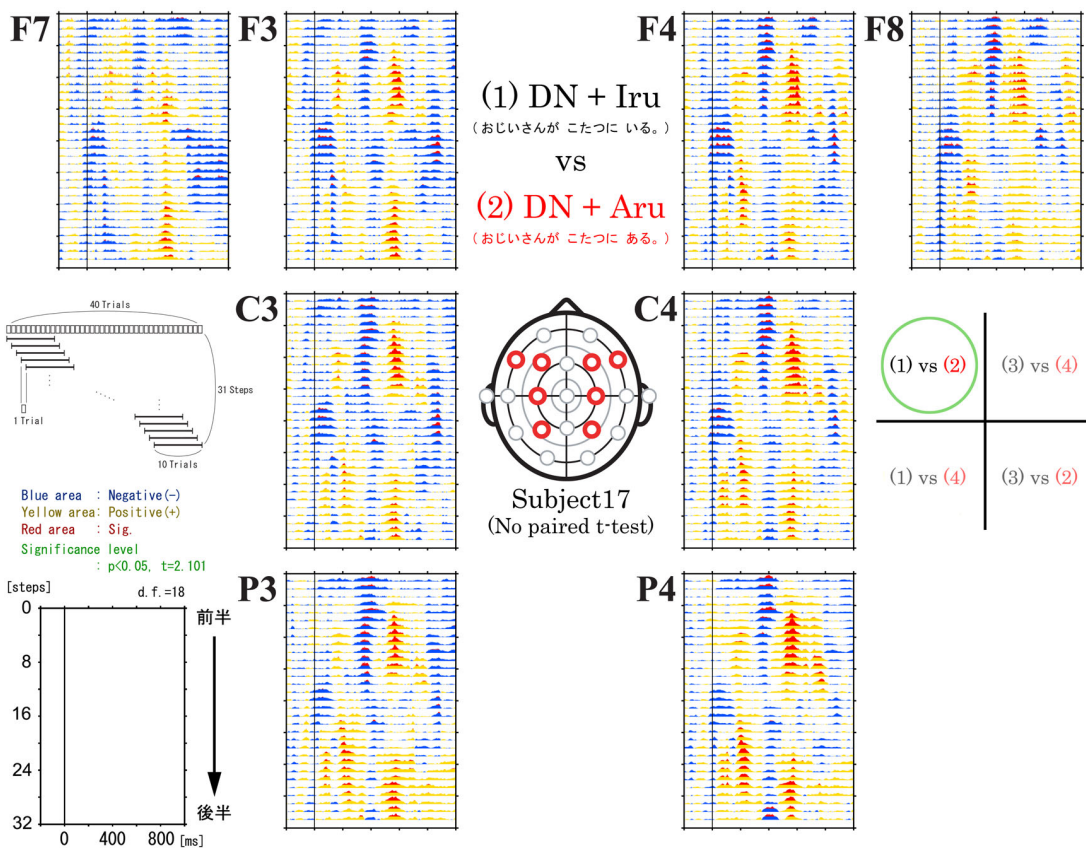


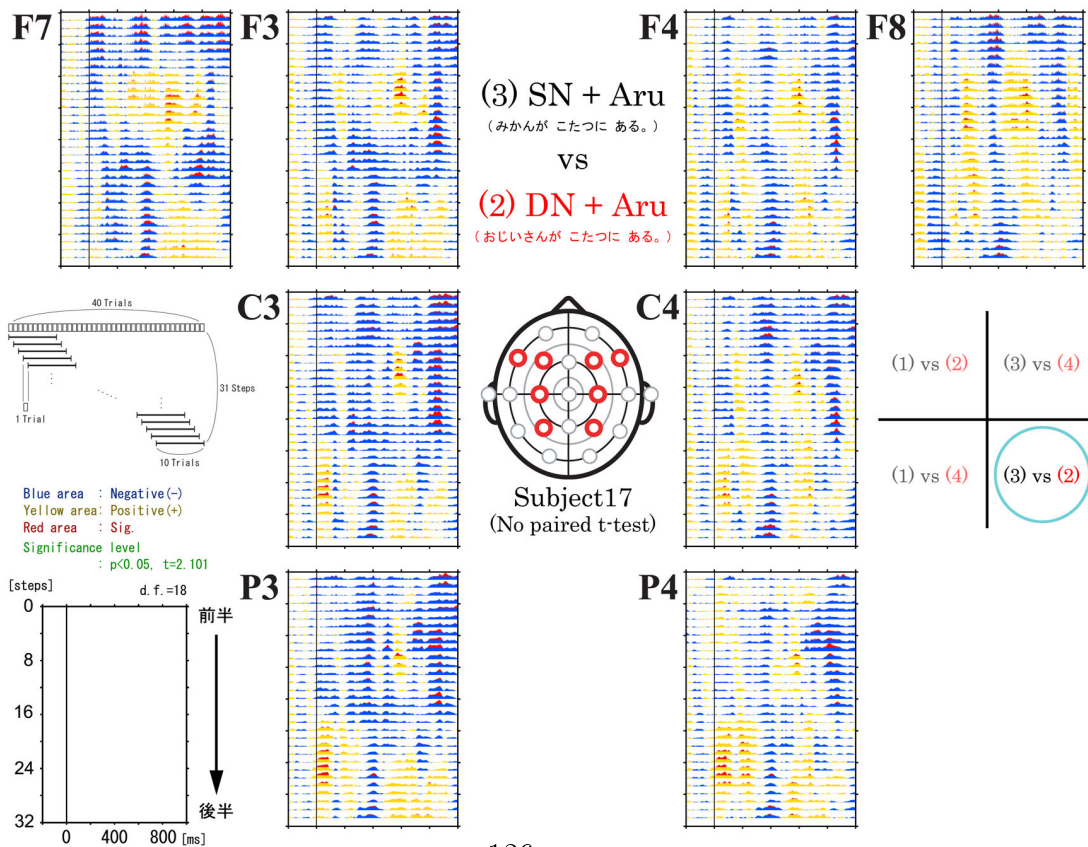
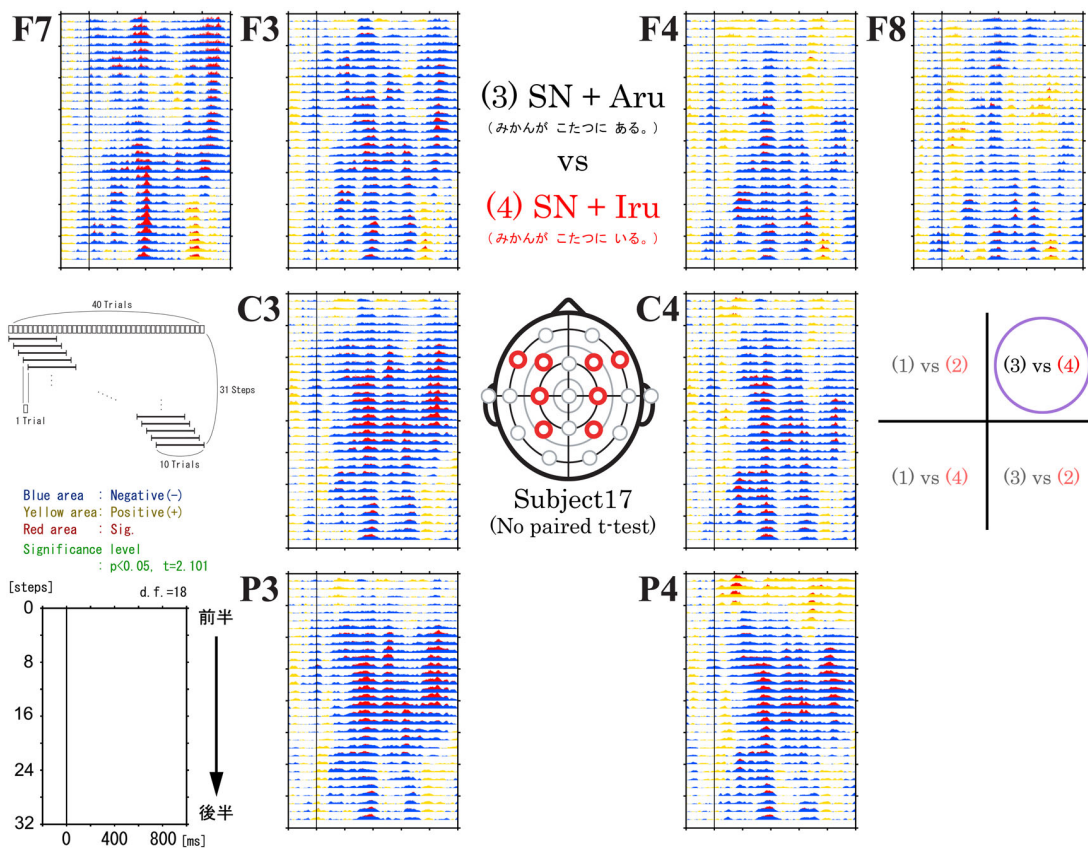


被験者 17

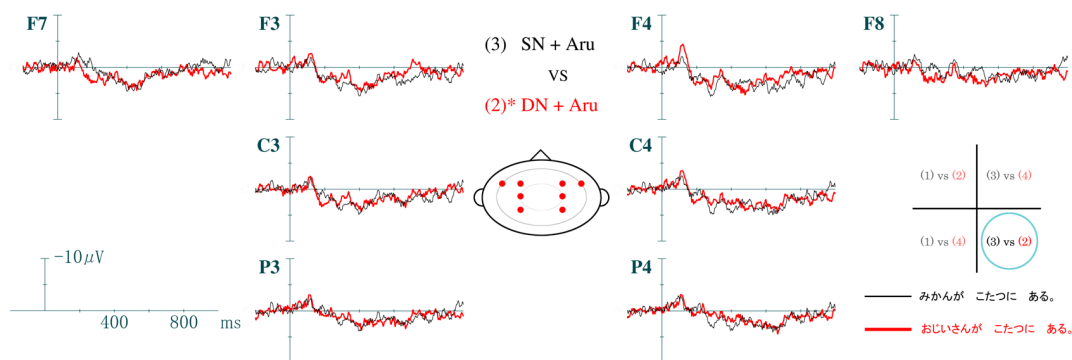
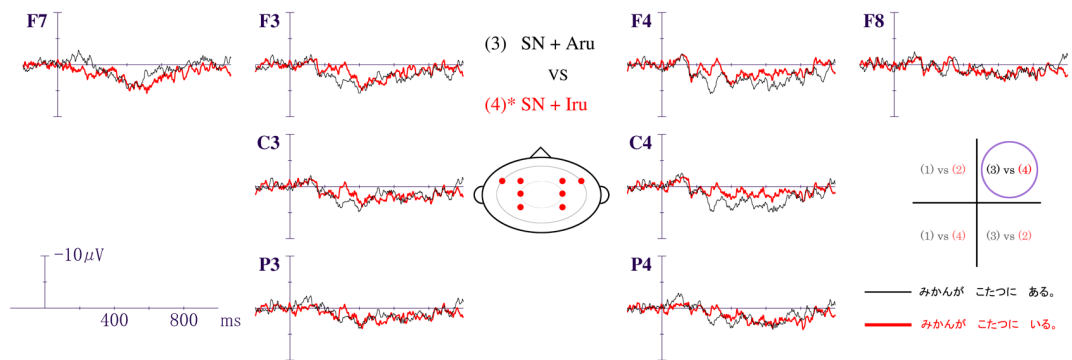
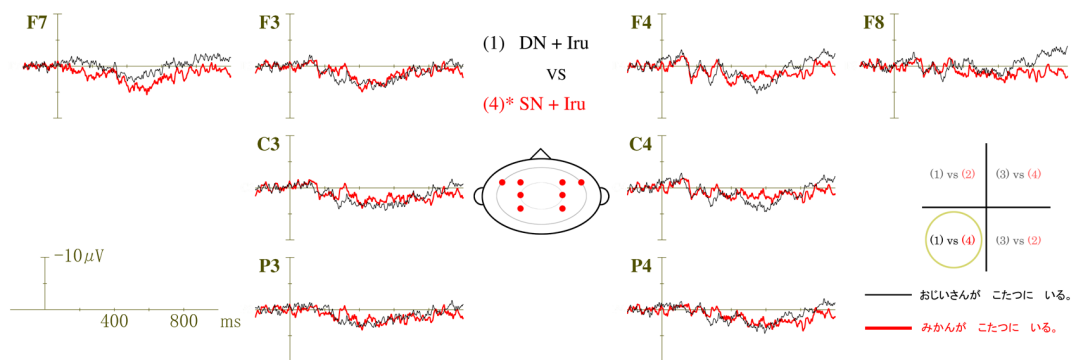
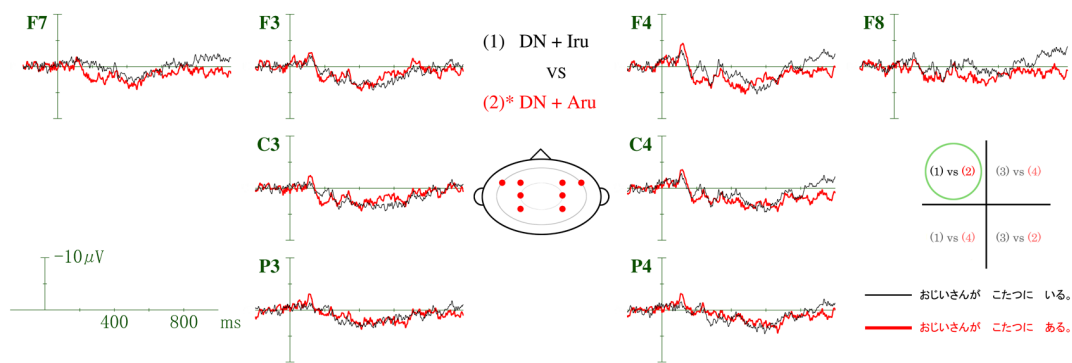


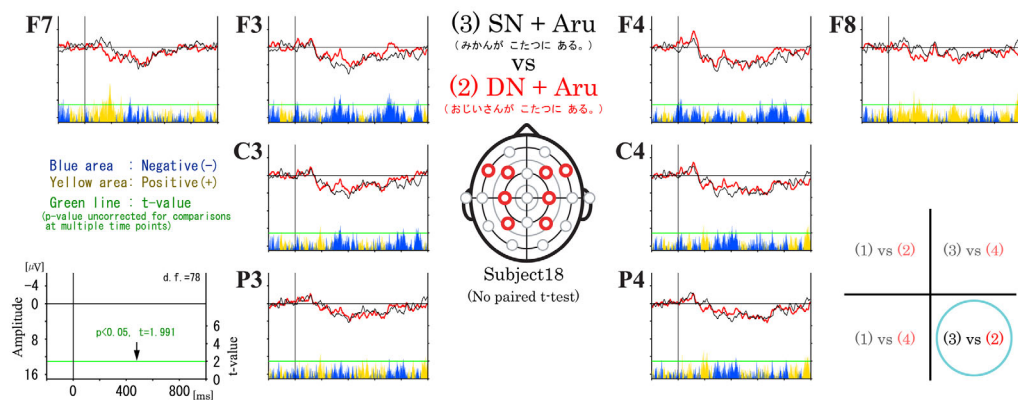
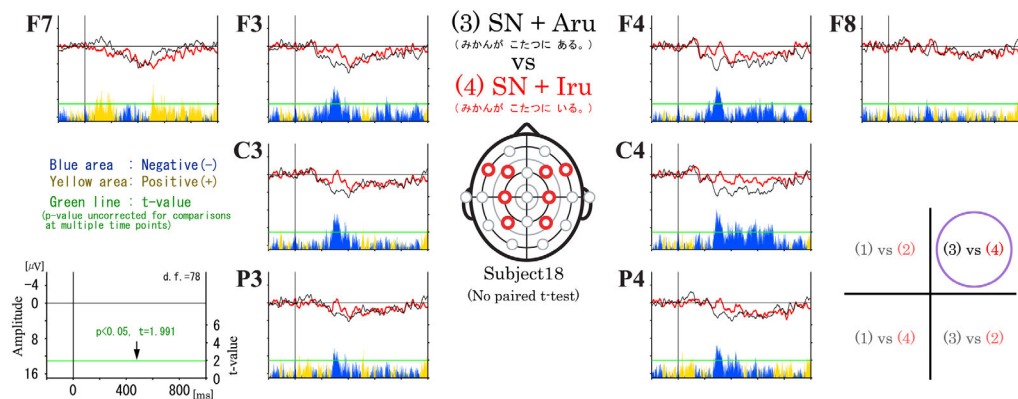
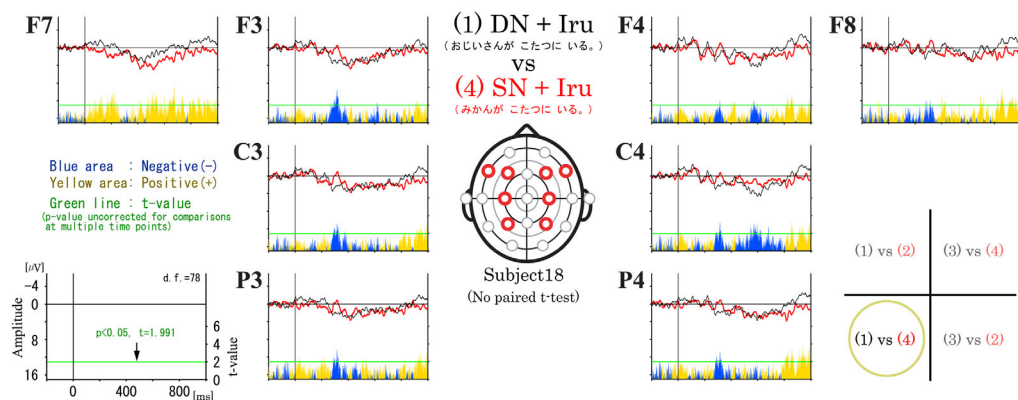
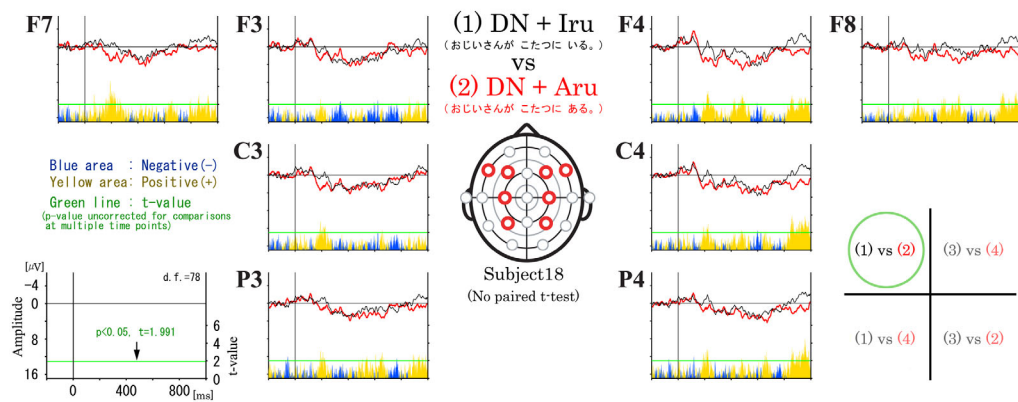


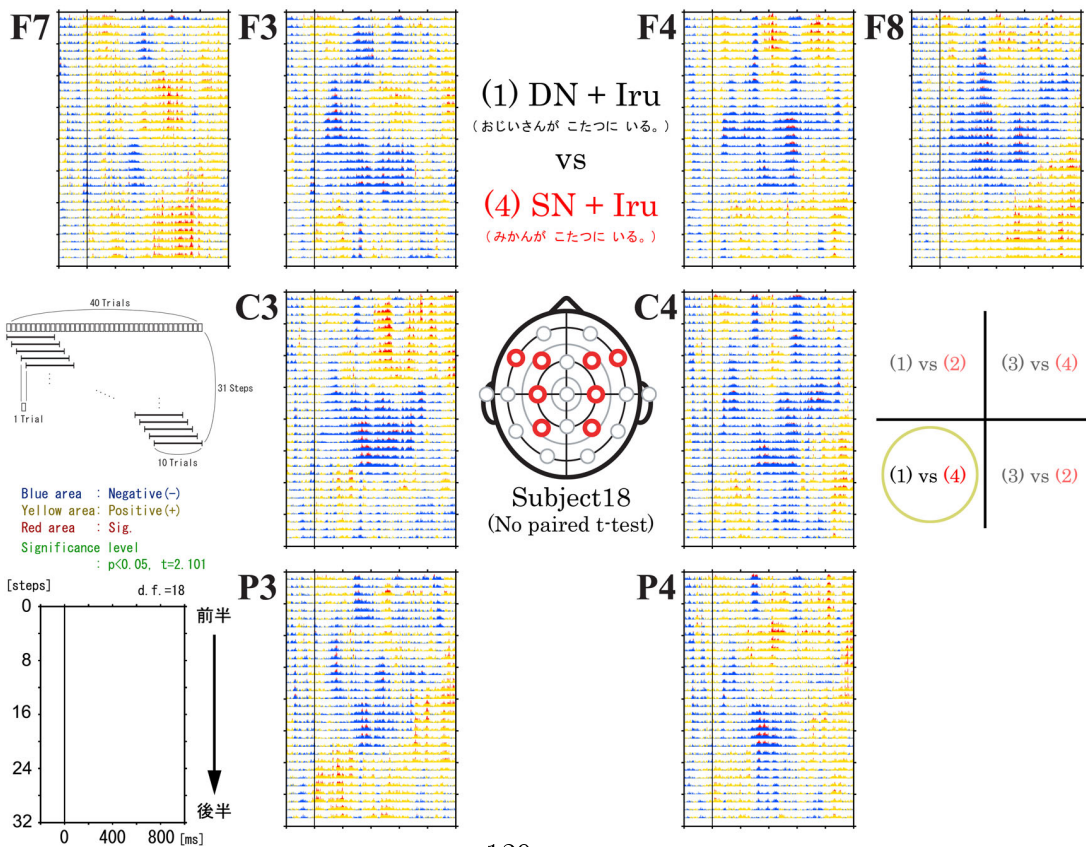
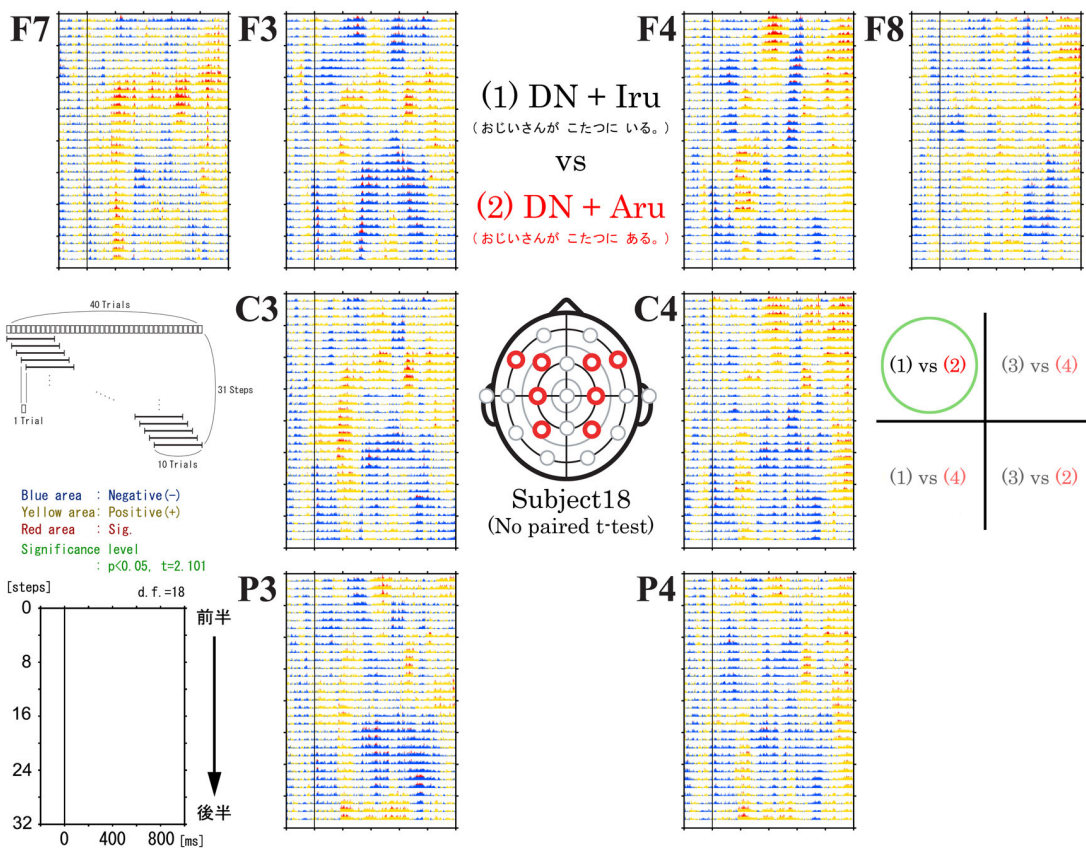


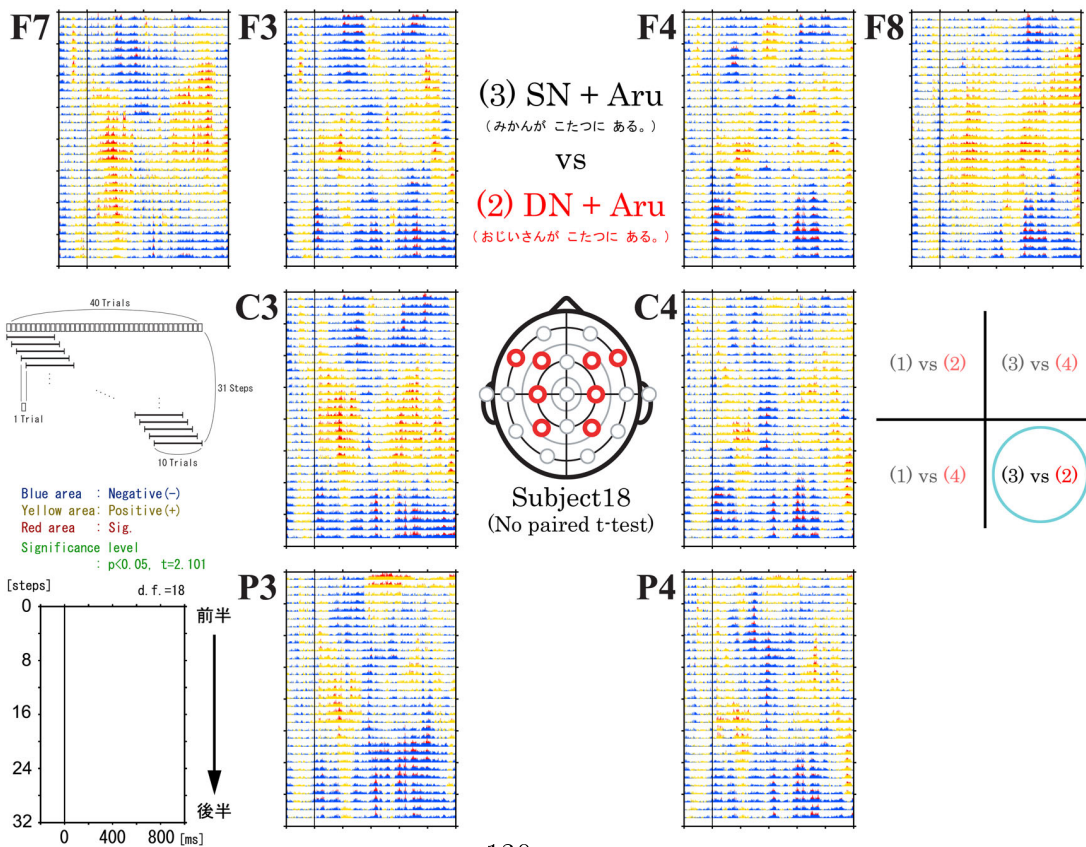
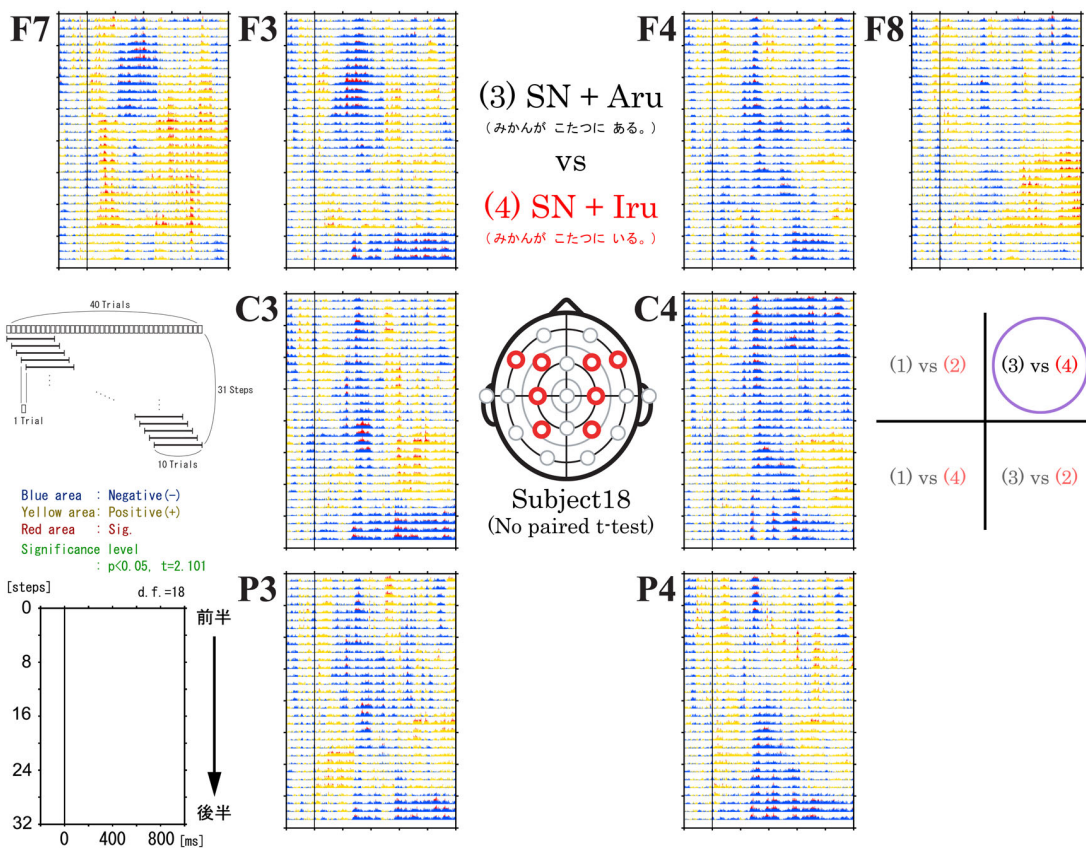


被験者 18

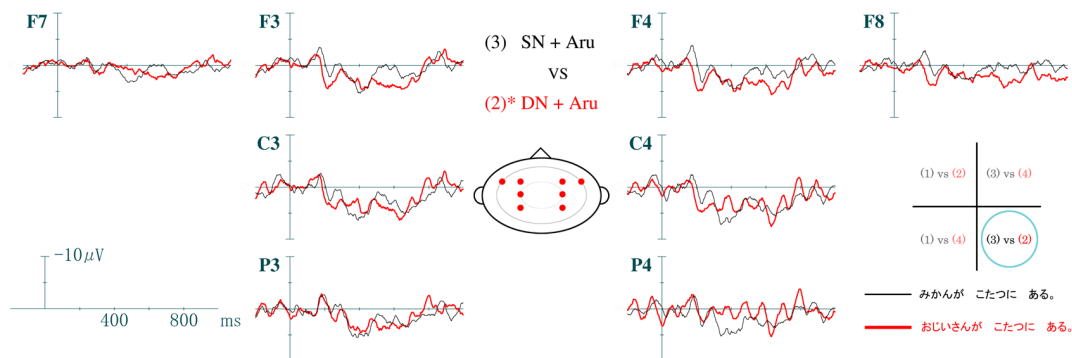
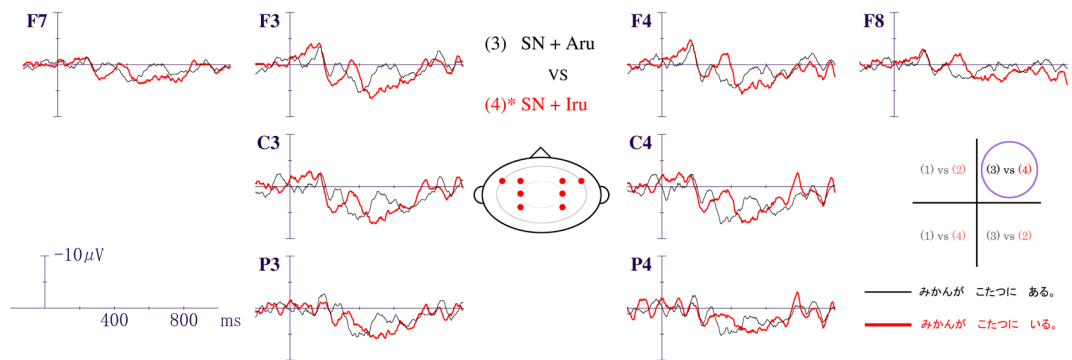
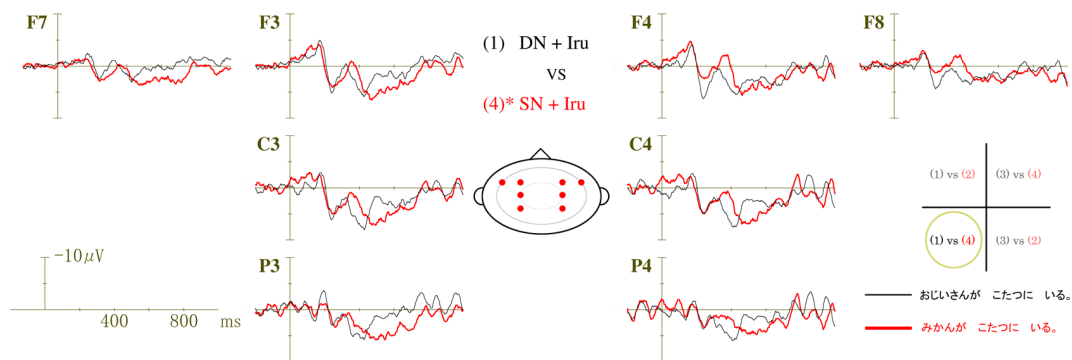
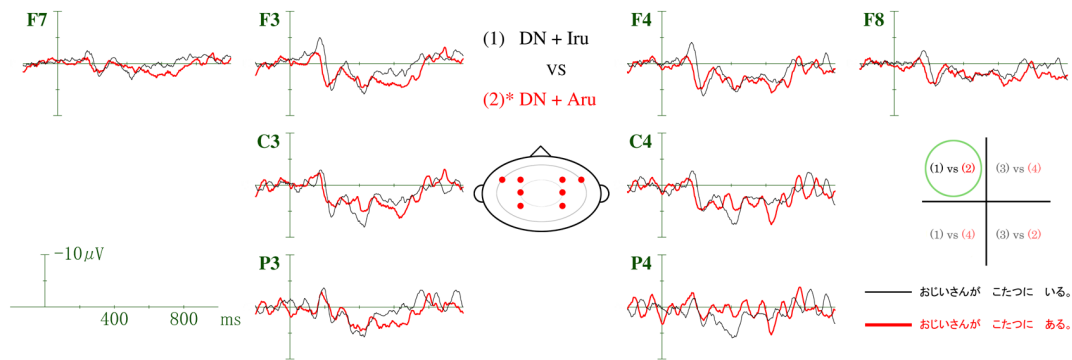


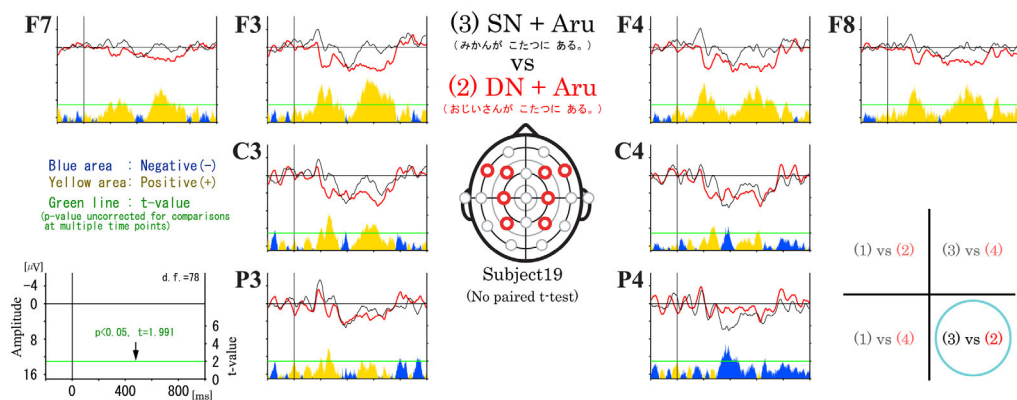
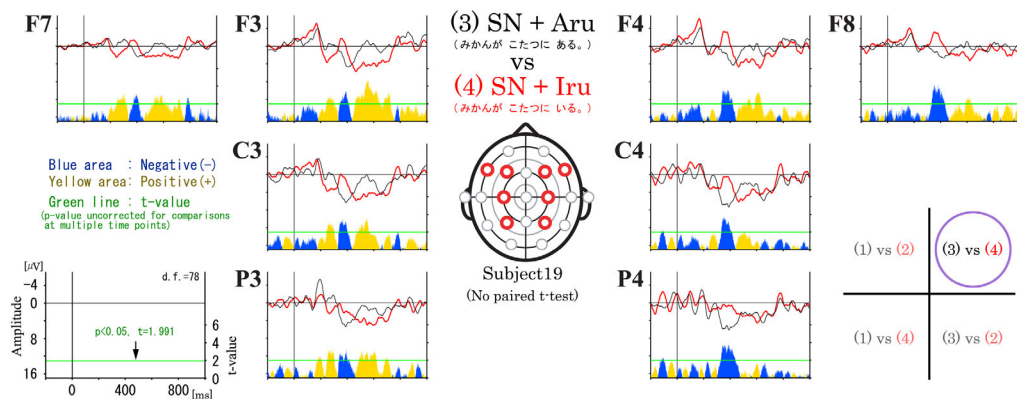
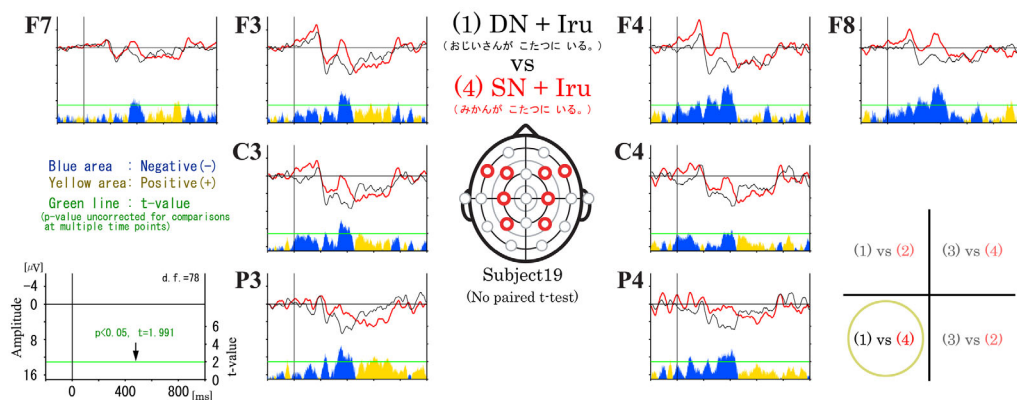
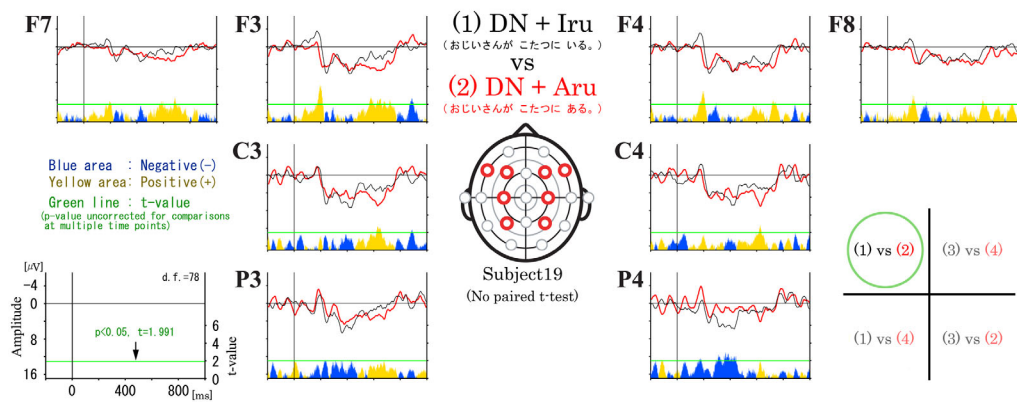


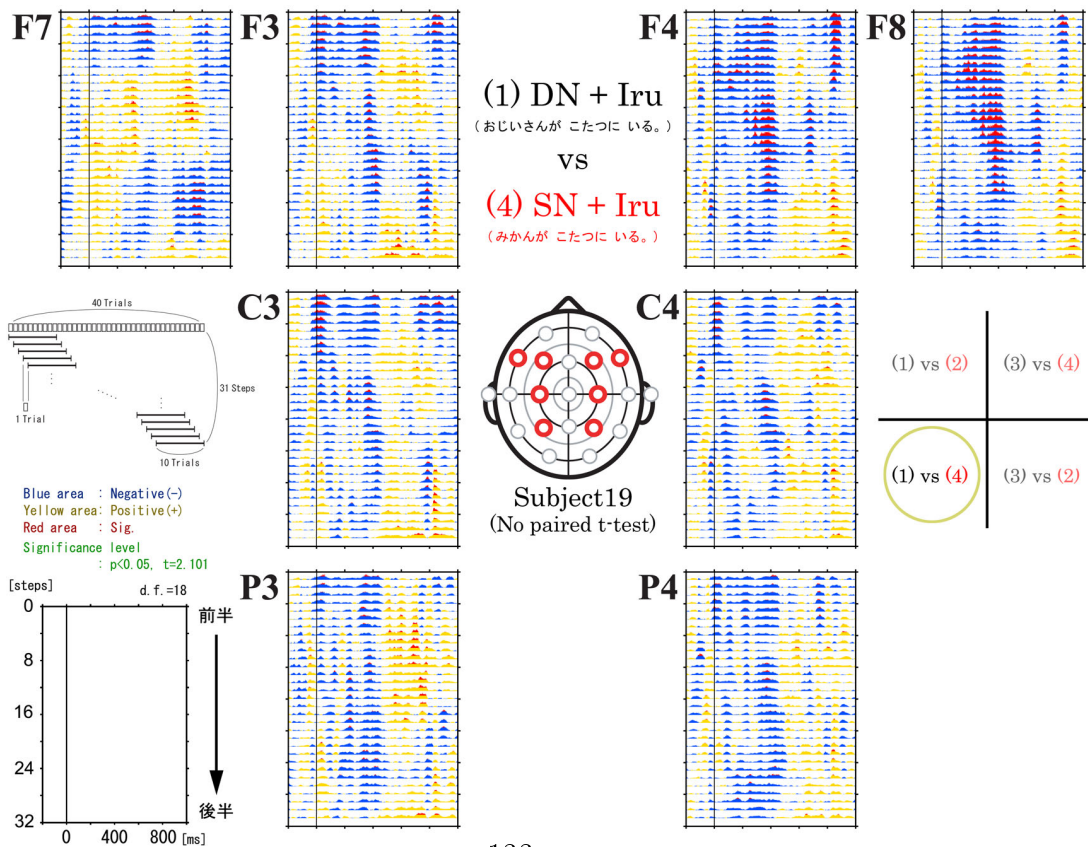
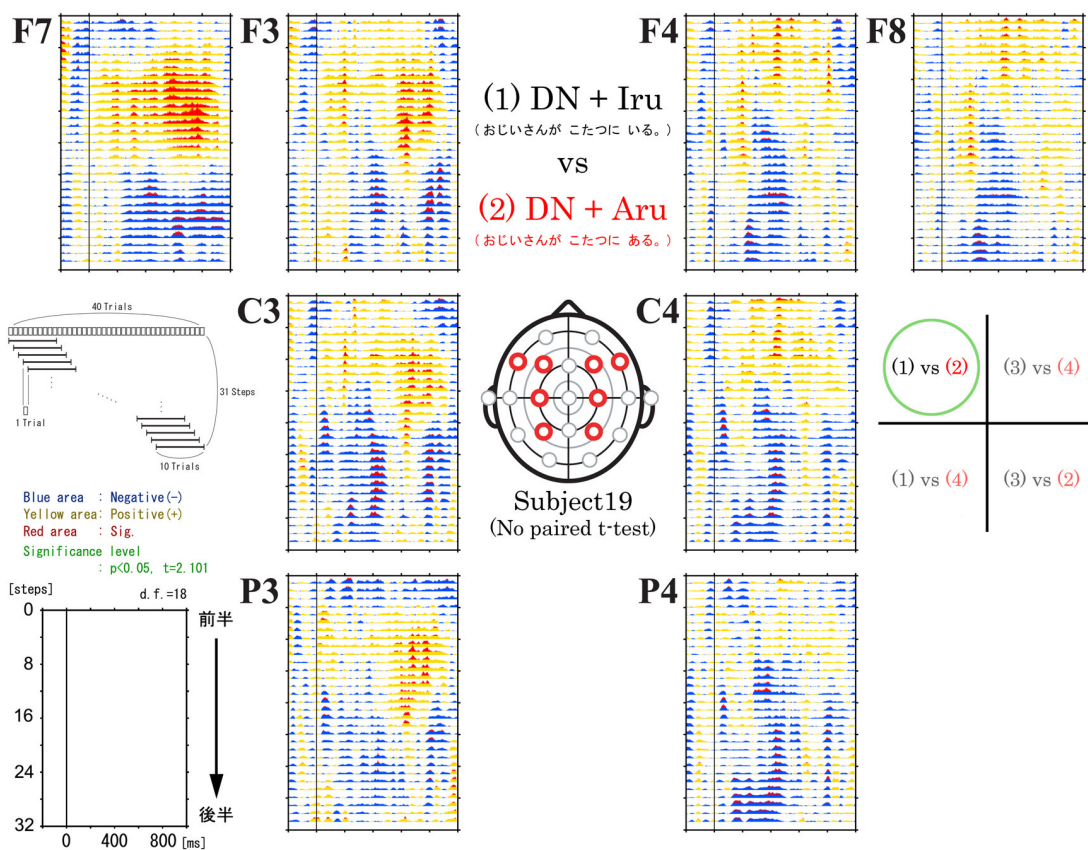


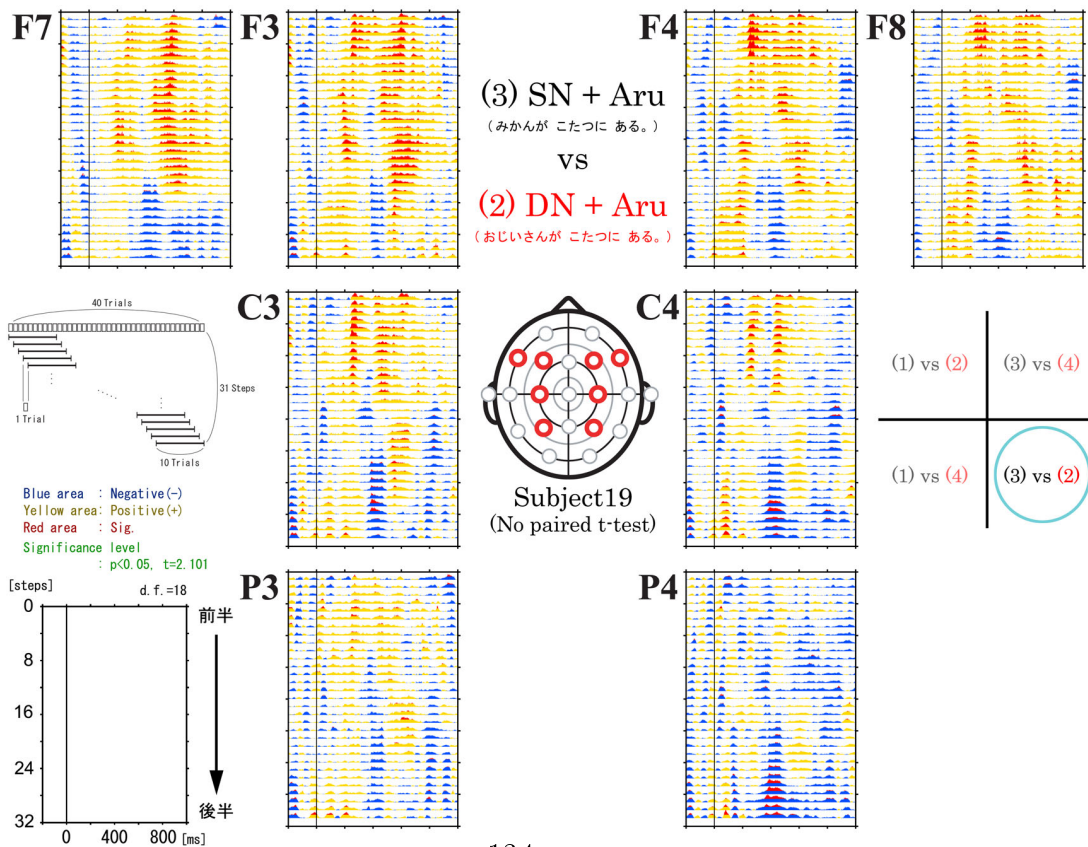
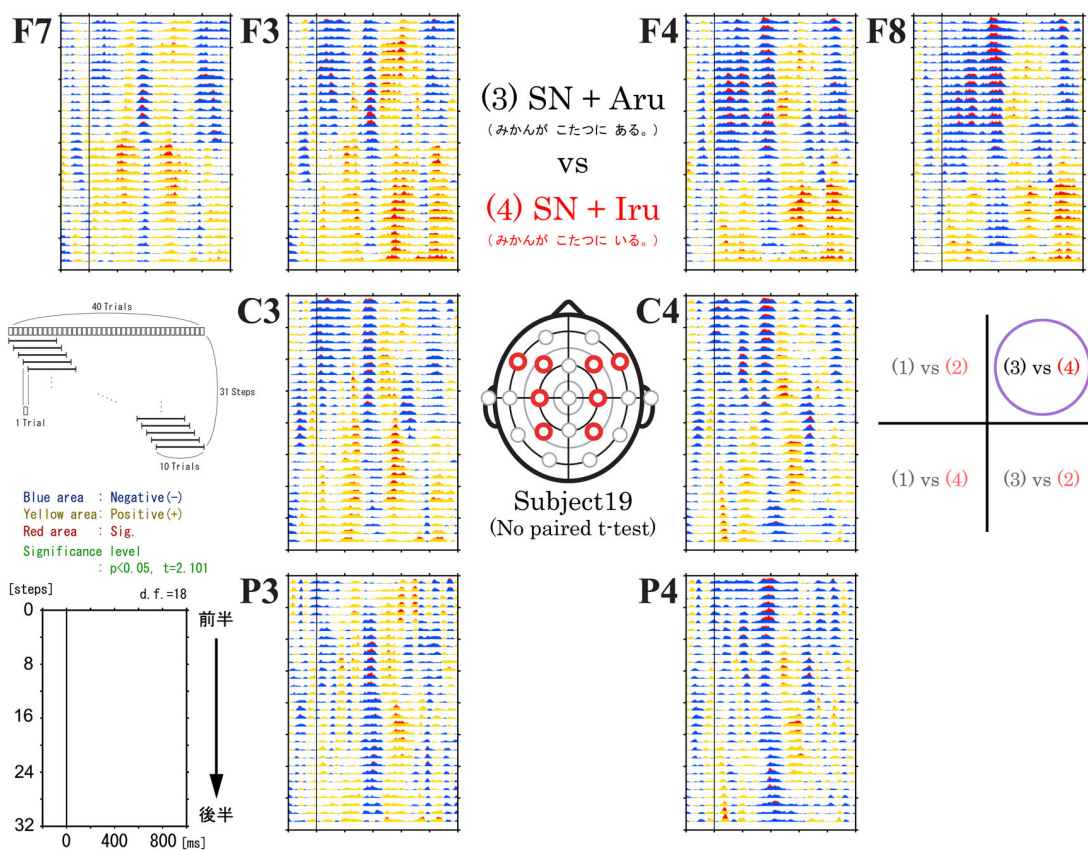


被験者 19

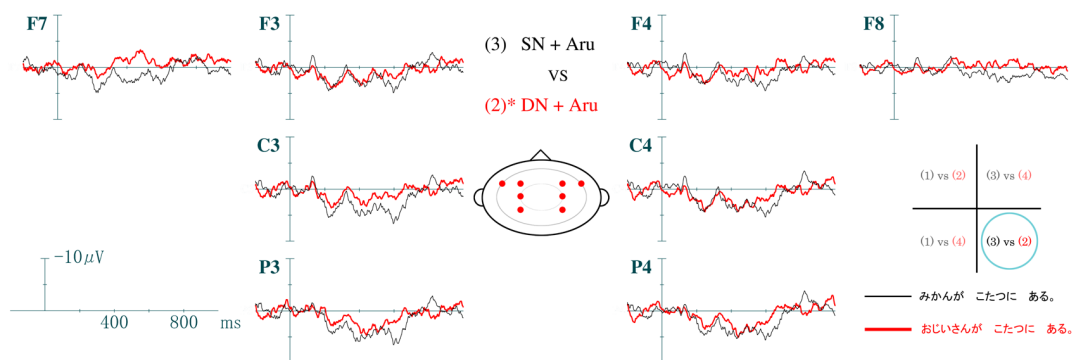
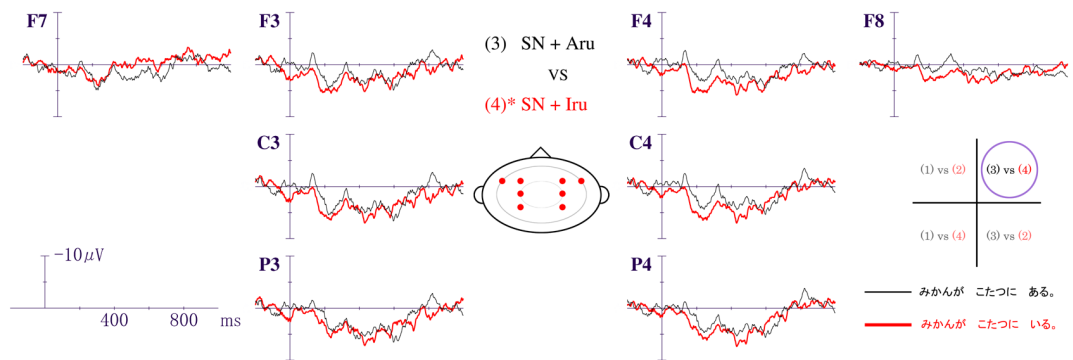
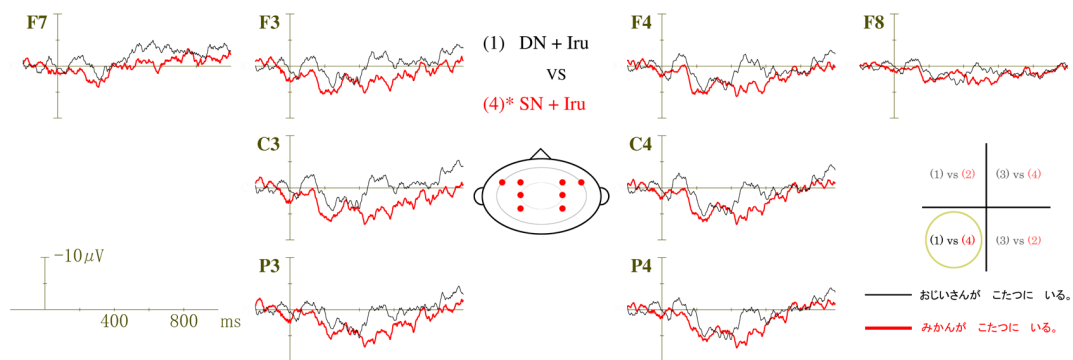
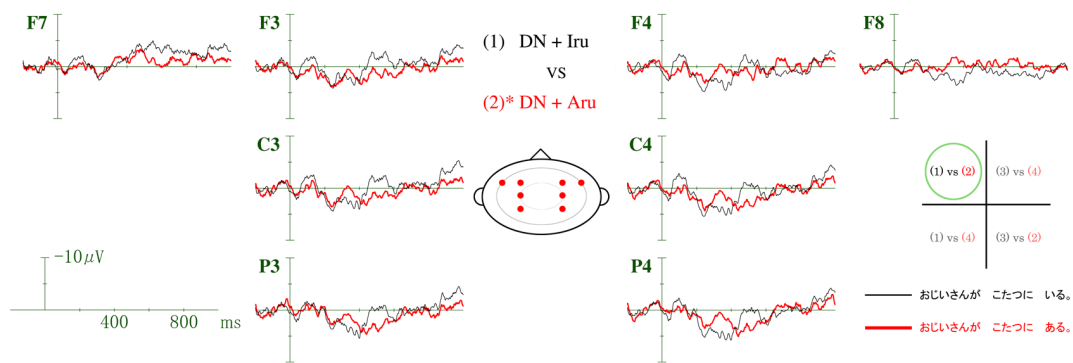


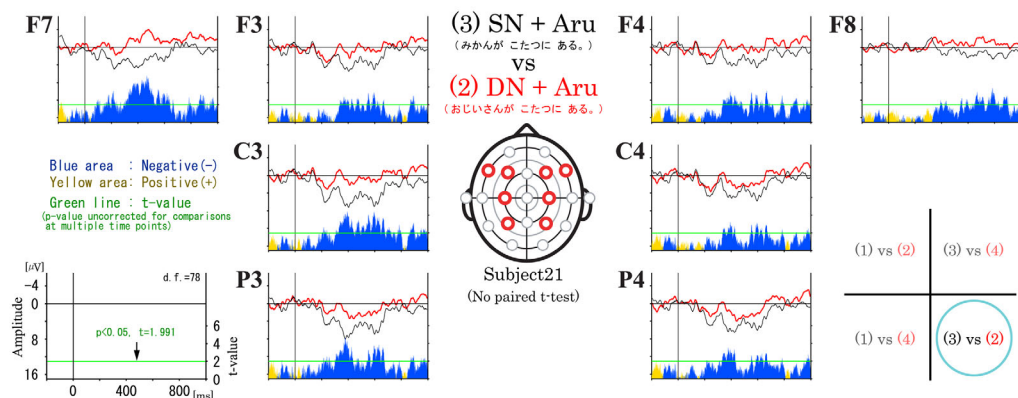
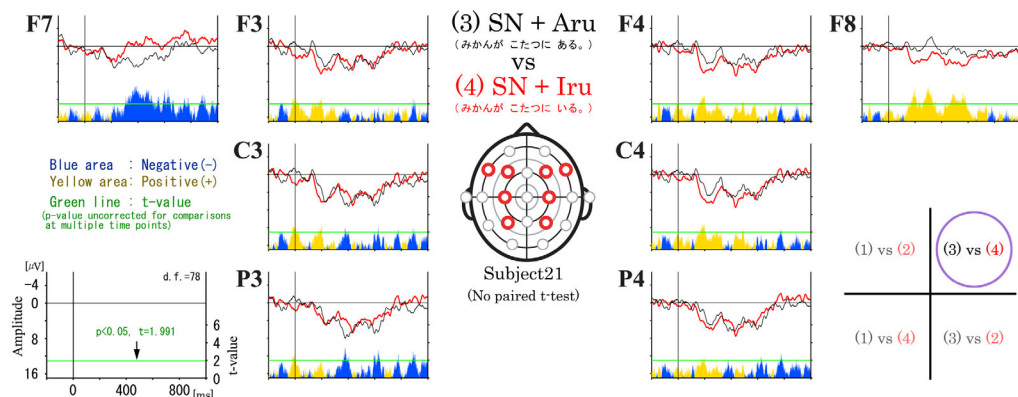
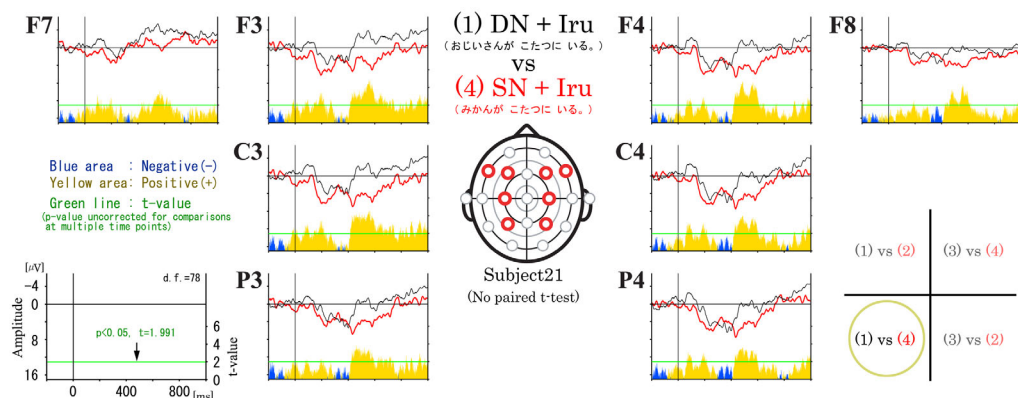
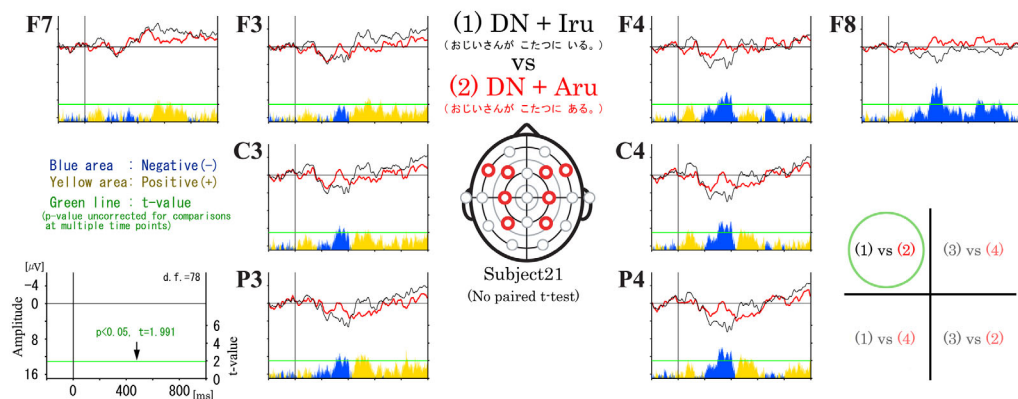


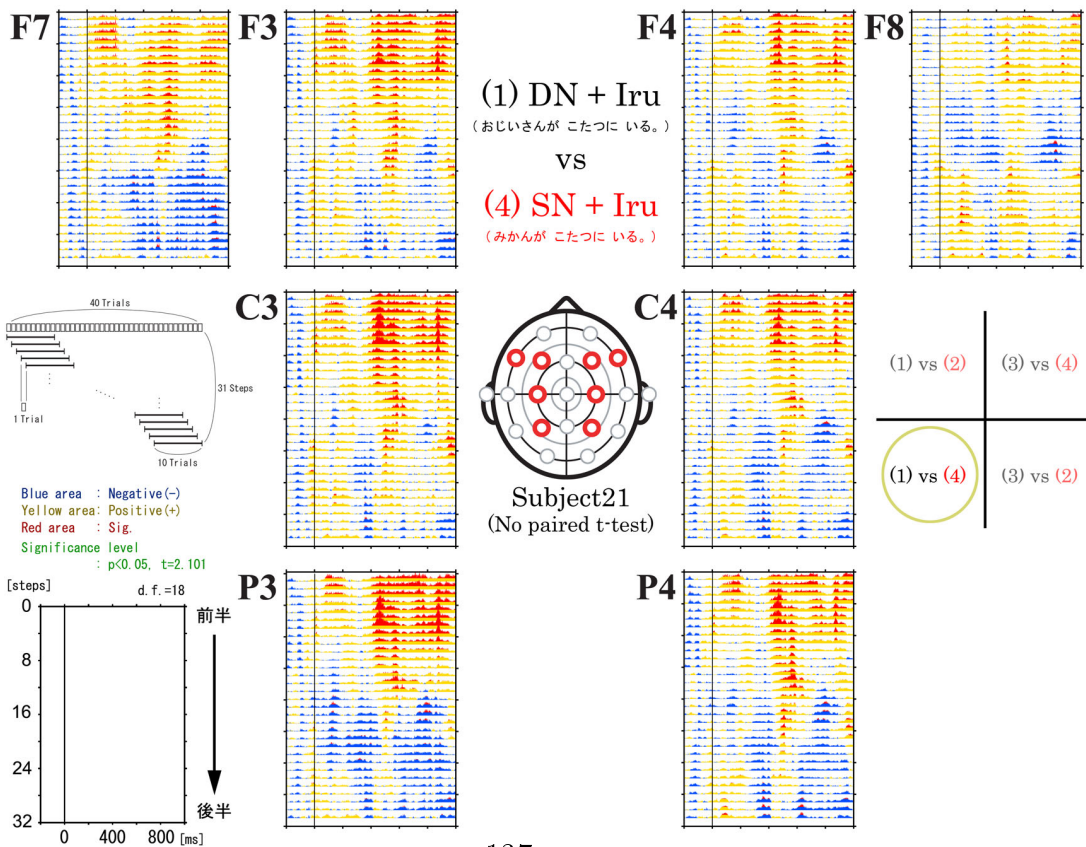
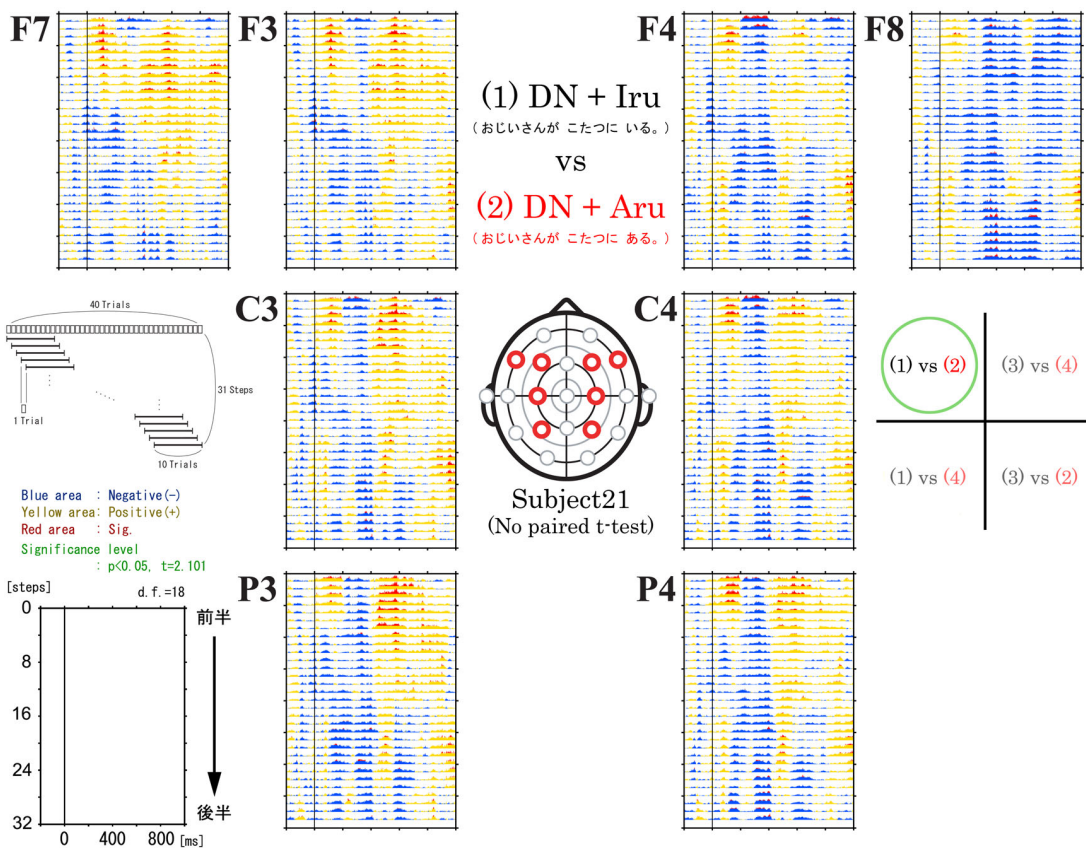


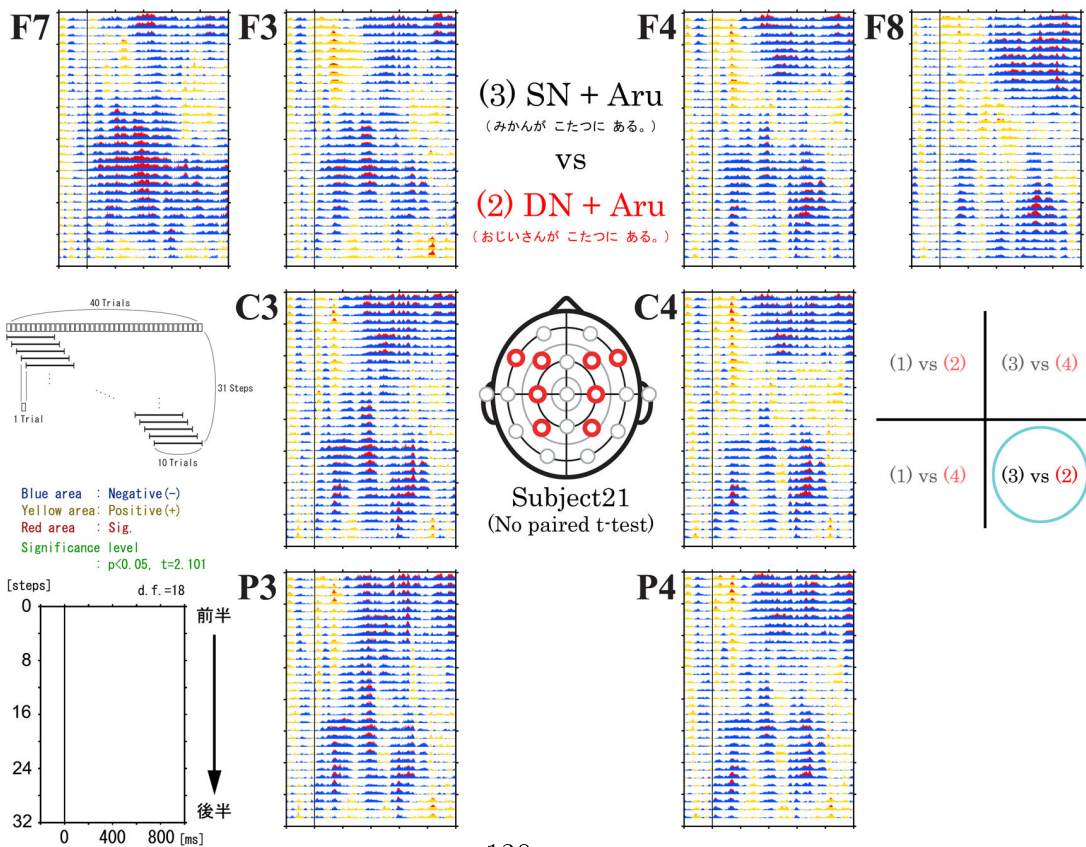
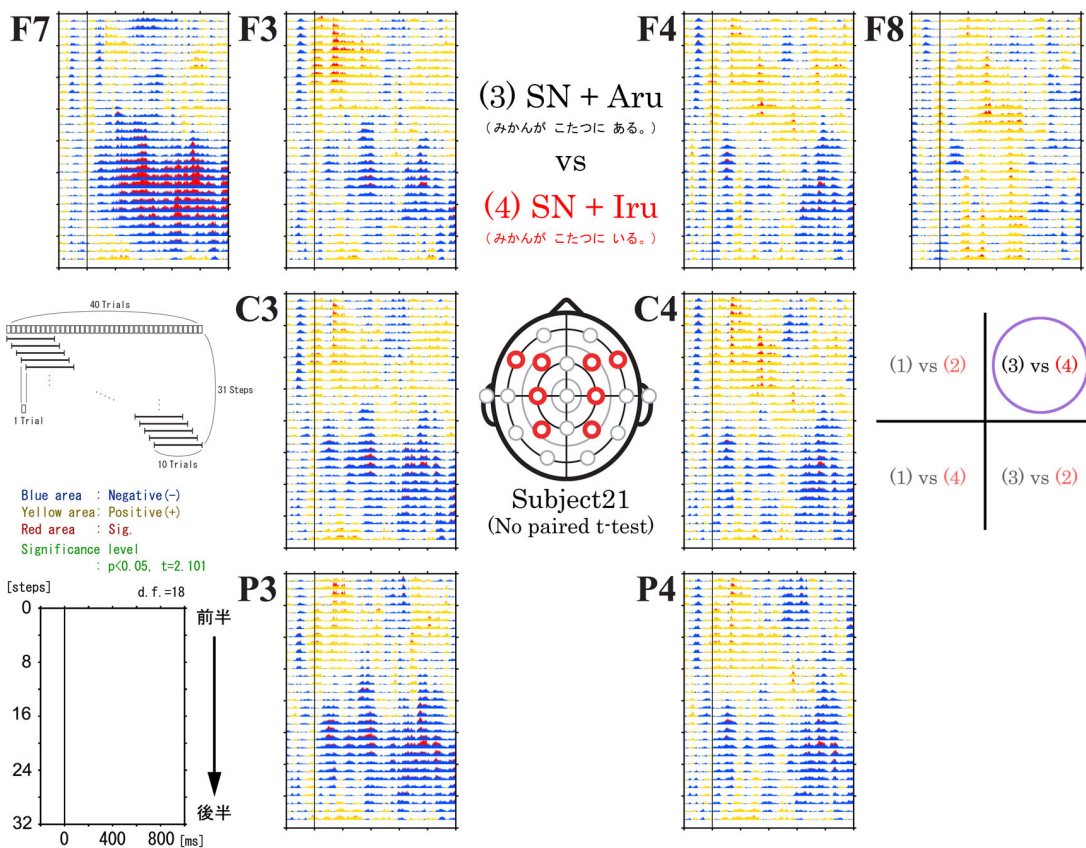


被験者 21

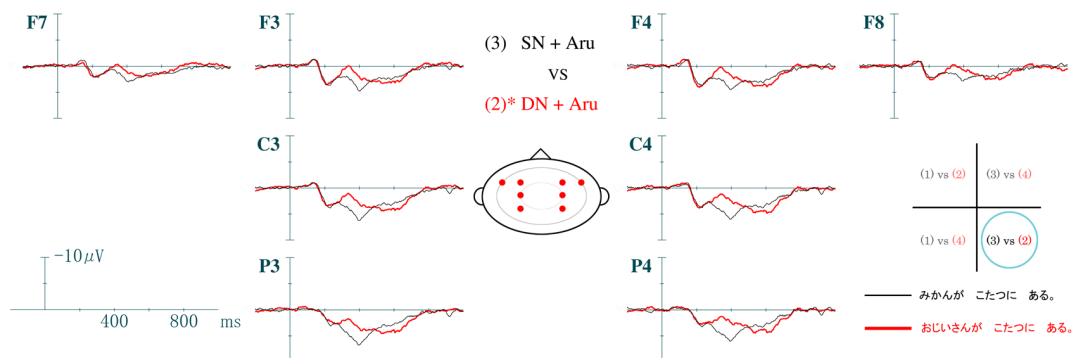
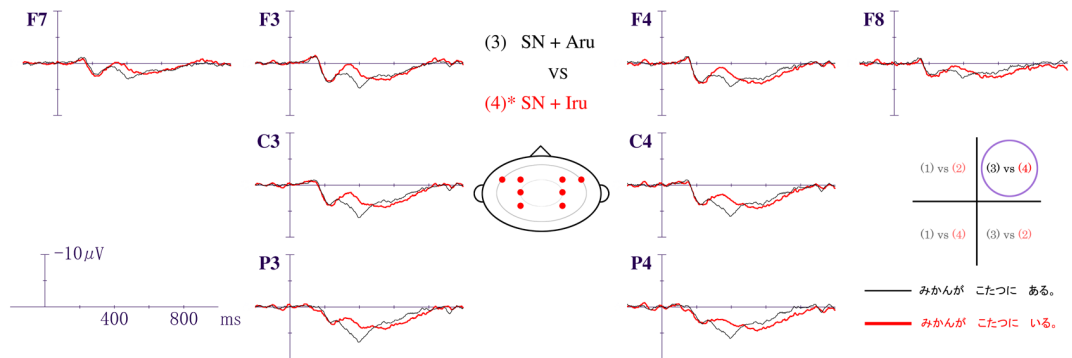
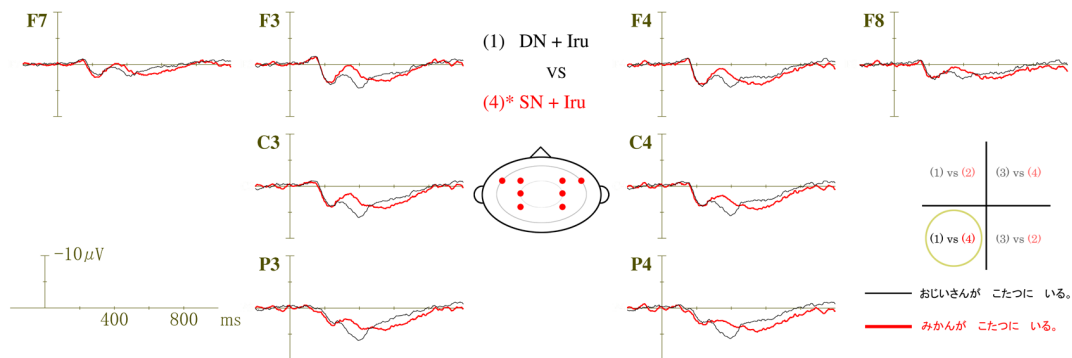
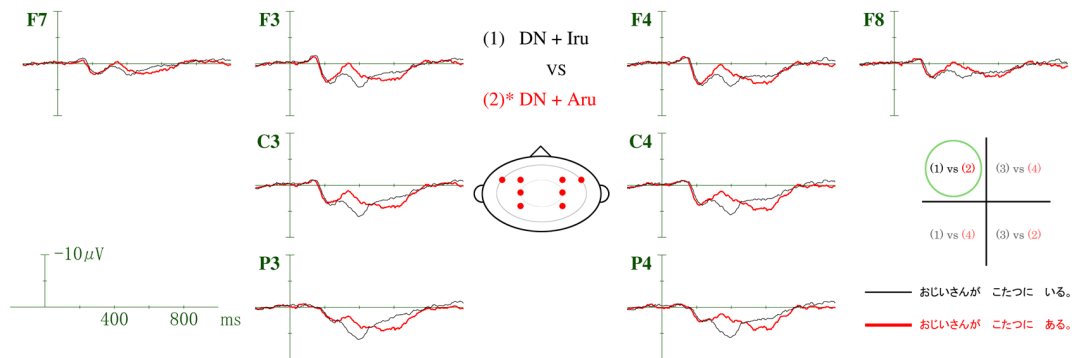


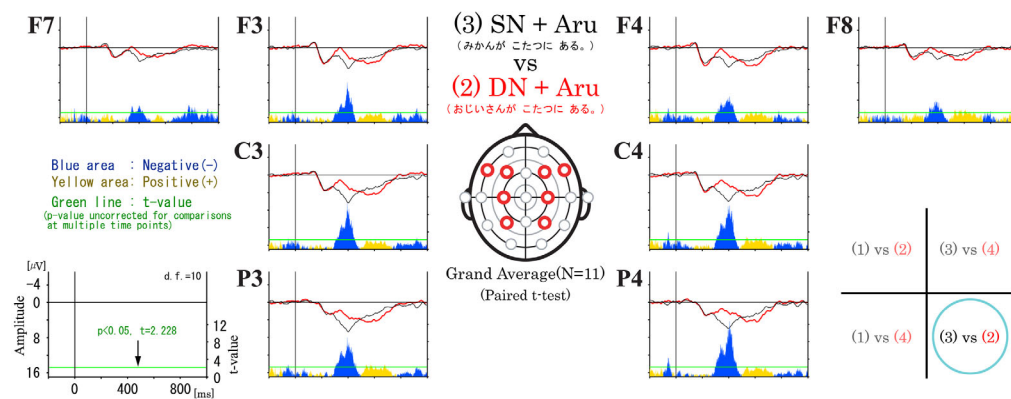
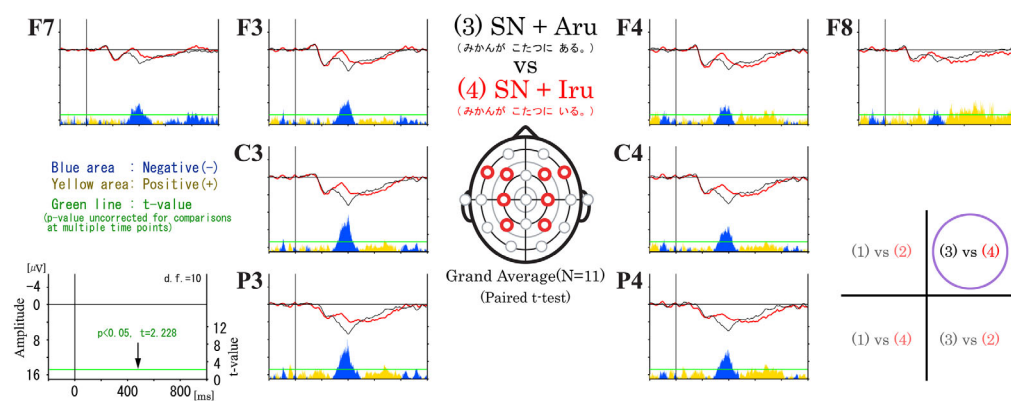
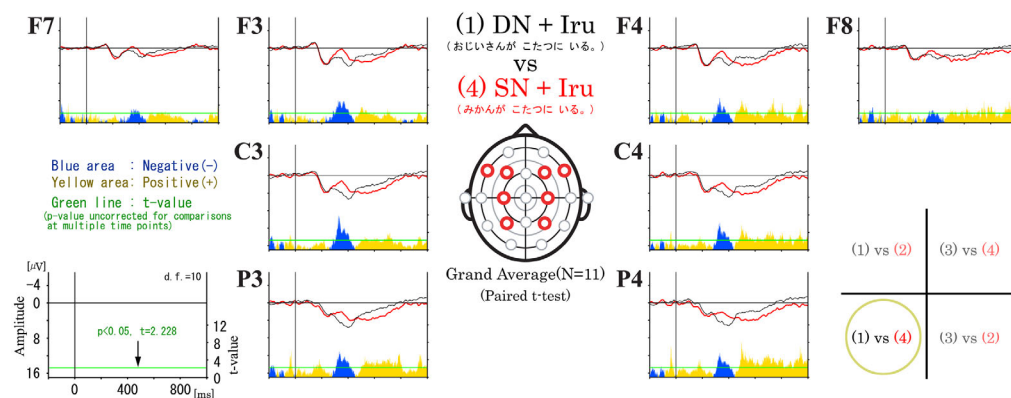
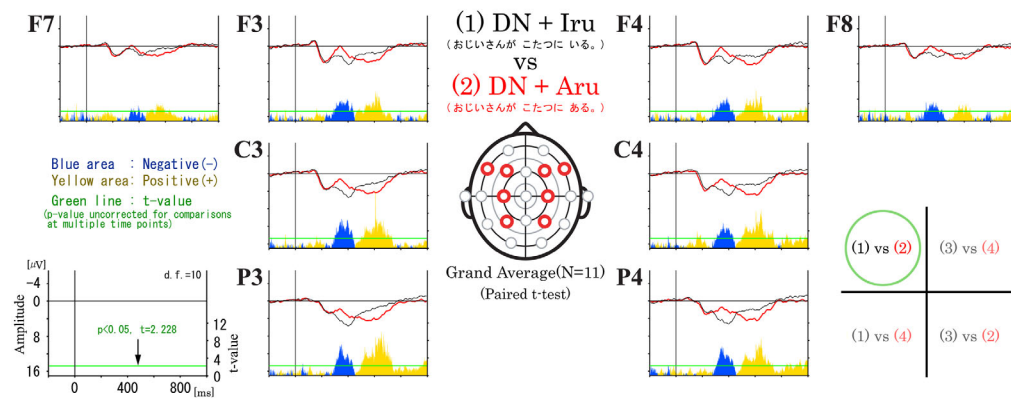


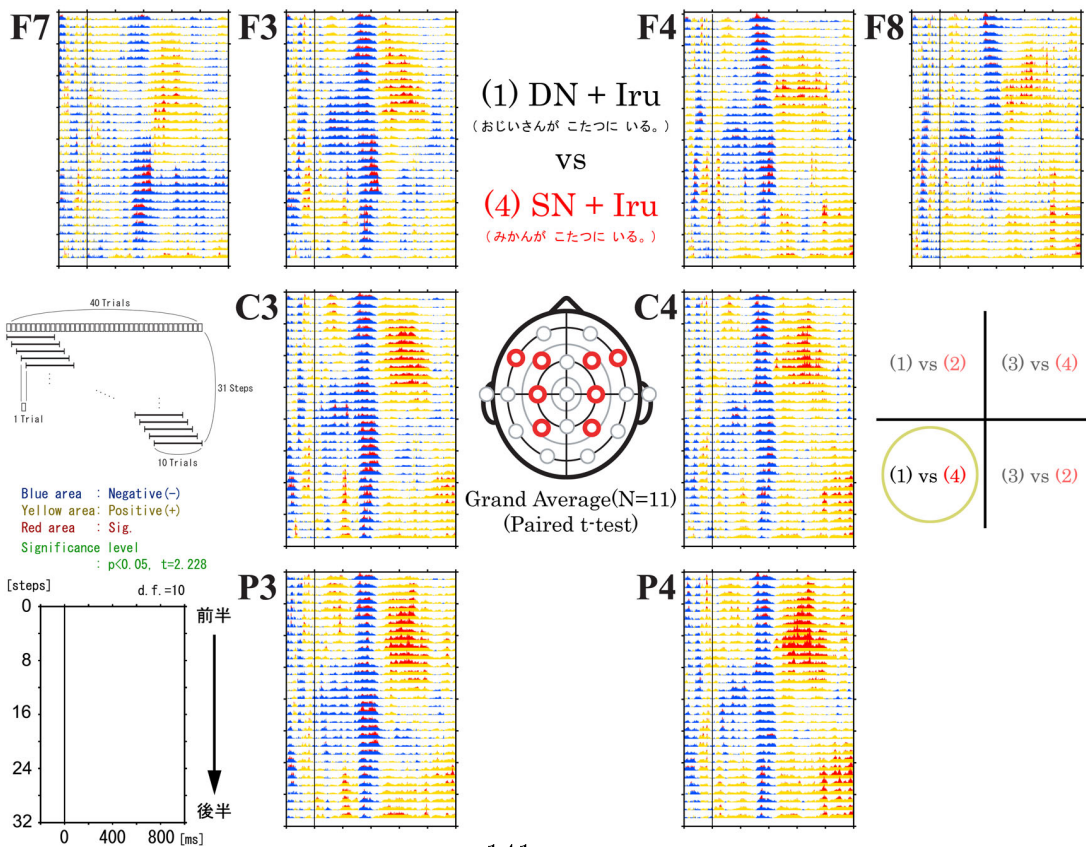
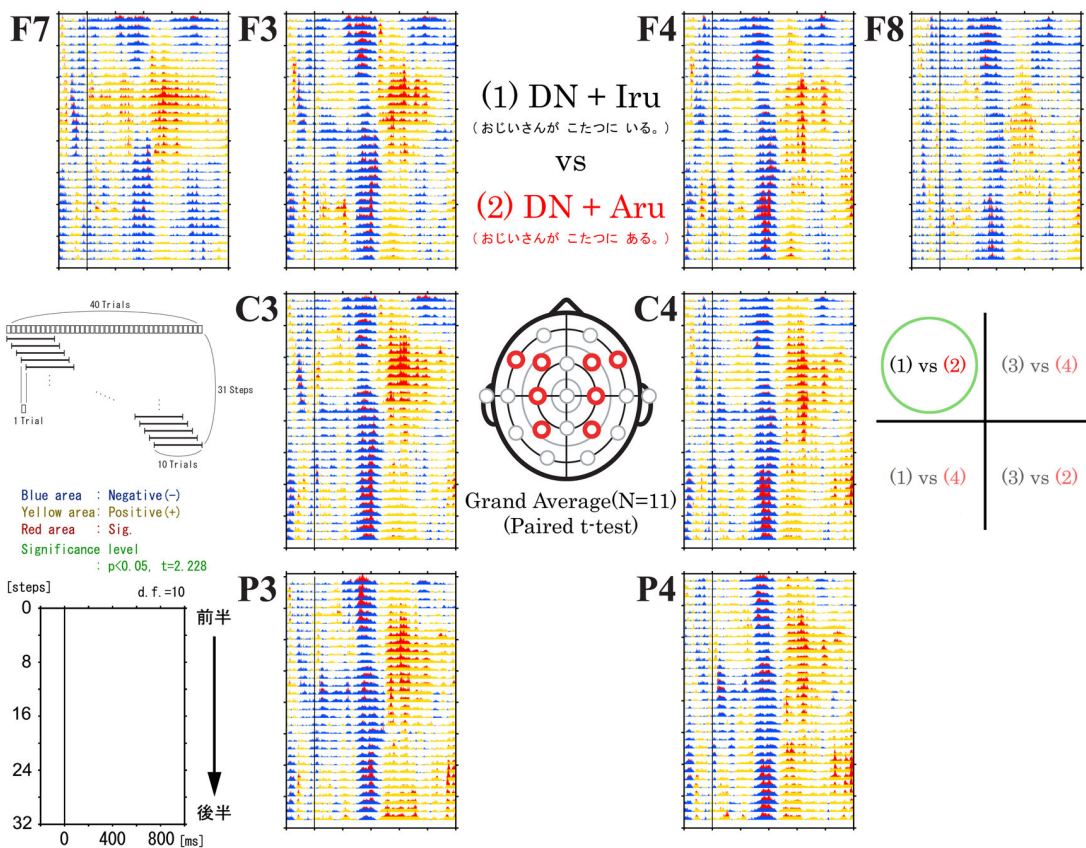


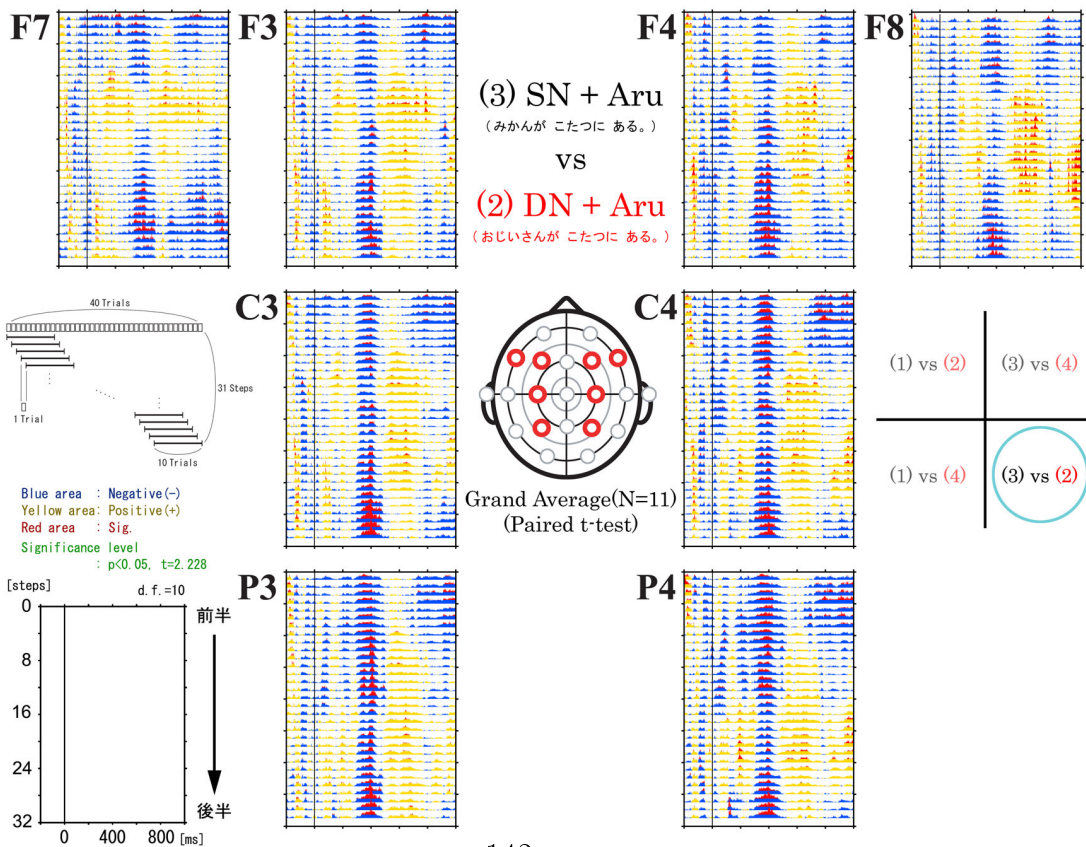
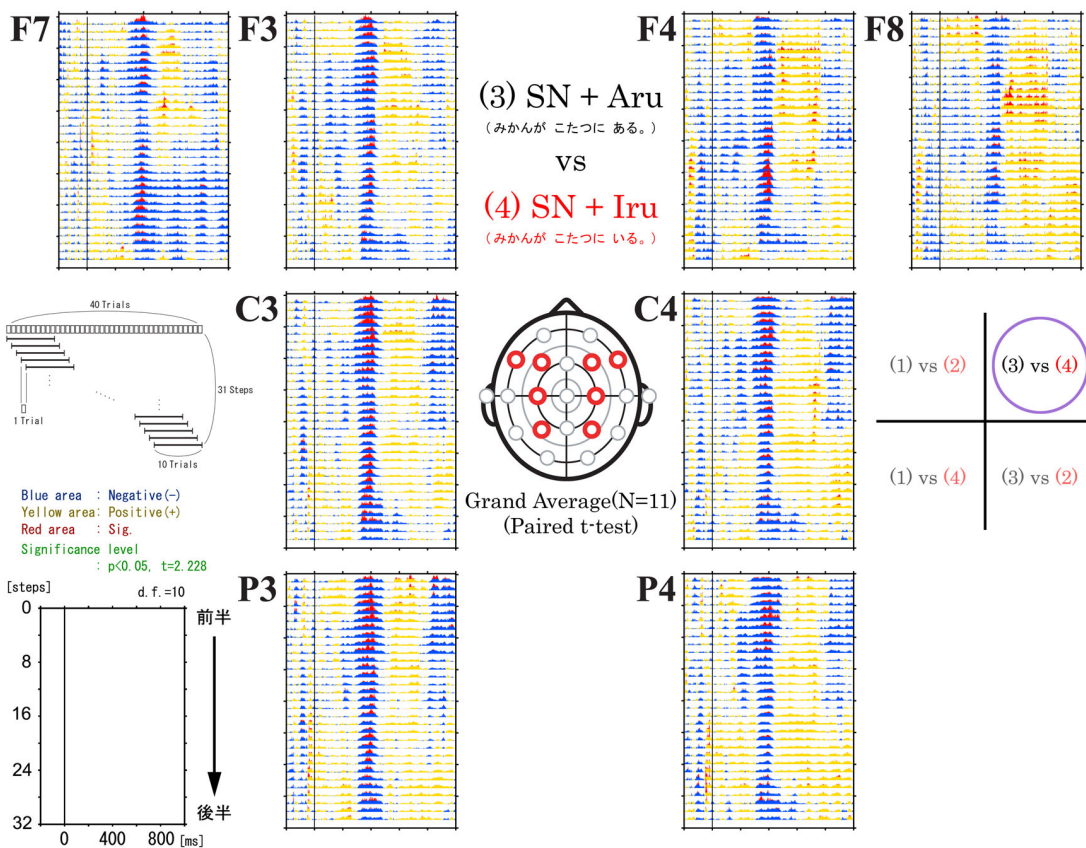


全体 (N=11)









統計解析

表 7.5: [ANOVA Table] 全体の検定 ; 時間区間 (300-400ms)

	平方和 (Type III)	自由度	平均平方	F 値	有意確率 (P 値)
自由度の調整前 (球面性の仮定)					
電極	397.256	7	56.751	15.194	0.00000000000066
誤差	261.453	70	3.735		
条件	389.274	3	129.758	17.823	0.00000079
誤差	218.411	30	7.280		
電極 × 条件	34.825	21	1.658	4.054	0.000000064
誤差	85.904	210	0.409		
自由度の調整後 (Greenhouse-Geisser)					
電極	397.256	1.748	227.230	15.194	0.00023
誤差	261.453	17.483	14.955		
$\epsilon = .250$					
条件	389.274	2.460	158.265	17.823	0.0000062
誤差	218.411	24.596	8.880		
$\epsilon = .820$					
電極 × 条件	34.825	4.992	6.977	4.054	0.0037
誤差	85.904	49.915	1.721		
$\epsilon = .238$					

表 7.6: Mauchly の球面性検定 (300-400ms); (下位検定, 電極における条件)

電極	Mauchly の M	近似 χ^2	自由度	有意確率 (P 値)
F7	.490	6.227	5	.287
F3	.650	3.756	5	.587
C3	.711	2.974	5	.706
P3	.659	3.643	5	.604
F8	.705	3.055	5	.693
F4	.696	3.163	5	.677
C4	.756	2.442	5	.786
P4	.776	2.210	5	.820

* $p < .05$.

表 7.7: [ANOVA Table] 全体の検定 ; 時間区間 (600-700ms)

	平方和 (Type III)	自由度	平均平方	F 値	有意確率 (P 値)
自由度の調整前 (球面性の仮定)					
電極	134.198	7	19.171	8.759	0.00000011
誤差	153.215	70	2.189		
条件	76.918	3	25.639	3.544	0.026
誤差	217.037	30	7.235		
電極 × 条件	24.685	21	1.175	2.515	0.00047
誤差	98.169	210	0.467		
自由度の調整後 (Greenhouse-Geisser)					
電極	134.198	1.769	75.848	8.759	0.0030
誤差	153.215	17.693	8.660		
$\epsilon = .253$					
条件	76.918	1.965	39.149	3.544	0.049
誤差	217.037	19.647	11.047		
$\epsilon = .655$					
電極 × 条件	24.685	4.654	5.304	2.515	0.046
誤差	98.169	46.538	2.109		
$\epsilon = .222$					

表 7.8: Mauchly の球面性検定 (600-700ms); (下位検定, 電極における条件)

電極	Mauchly の M	近似 χ^2	自由度	有意確率 (P 値)
F7	.449	6.987	5	.224
F3	.366	8.775	5	.120
C3*	.269	11.437	5	.045
P3*	.196	14.199	5	.015
F8	.445	7.056	5	.219
F4	.592	4.572	5	.473
C4	.360	8.917	5	.114
P4*	.232	12.731	5	.027

* $p < .05$.

表 7.9: [ANOVA Table] 下位検定 ; 時間区間 (300-400ms)

電極		平方和 (Type III)	自由度	平均平方	F 値	有意確率 (P 値)
(球面性の仮定)						
F7	条件	12.213	3	4.071	6.110	0.0023
	誤差	19.990	30	0.666		
F3	条件	52.232	3	17.411	13.397	0.000010
	誤差	38.987	30	1.300		
C3	条件	73.692	3	24.564	19.587	0.00000032
	誤差	37.623	30	1.254		
P3	条件	71.122	3	23.707	16.651	0.0000015
	誤差	42.714	30	1.424		
F8	条件	21.118	3	7.039	6.497	0.0016
	誤差	32.505	30	1.083		
F4	条件	43.431	3	14.477	10.963	0.000050
	誤差	39.615	30	1.321		
C4	条件	71.756	3	23.919	14.426	0.0000053
	誤差	49.740	30	1.658		
P4	条件	78.535	3	26.178	18.204	0.00000064
	誤差	43.141	30	1.438		

表 7.10: [ANOVA Table] 下位検定 ; 時間区間 (600-700ms)

電極		平方和 (Type III)	自由度	平均平方	F 値	有意確率 (P 値)
自由度の調整前 (球面性の仮定)						
F7	条件	5.738	3	1.913	2.187	0.11
	誤差	26.234	30	0.874		
F3	条件	3.769	3	1.256	1.150	0.34
	誤差	32.767	30	1.092		
C3	条件	11.921	3	3.974	2.400	0.087
	誤差	49.673	30	1.656		
P3	条件	26.591	3	8.864	4.885	0.0070
	誤差	54.433	30	1.814		
F8	条件	7.642	3	2.547	2.754	0.060
	誤差	27.749	30	0.925		
F4	条件	6.955	3	2.318	2.292	0.098
	誤差	30.339	30	1.011		
C4	条件	16.666	3	5.555	3.553	0.026
	誤差	46.908	30	1.564		
P4	条件	22.321	3	7.440	4.739	0.0080
	誤差	47.103	30	1.570		
自由度の調整後 (Greenhouse-Geisser)						
C3	条件	11.921	2.115	5.637	2.400	0.11
	誤差	49.673	21.148	2.349		
$\epsilon = .705$						
P3	条件	26.591	1.925	13.815	4.885	0.020
	誤差	54.433	19.248	2.828		
$\epsilon = .642$						
P4	条件	22.321	1.674	13.336	4.739	0.028
	誤差	47.103	16.737	2.814		
$\epsilon = .558$						

表 7.11: 多重比較 (300-400ms) ; 対応のある t 検定 (Bonferroni の方法)

電極	条件	差の平均値	標準偏差	自由度	t 値	有意確率 (P 値)
F7	(2) - (1)	-0.799	0.894	10	-2.966	0.014
	(4) - (1)	-0.848	1.522	10	-1.848	0.094
	(4) - (3)	-1.235	1.199	10	-3.417*	0.0066
	(2) - (3)	-1.186	0.804	10	-4.890**	0.00063
F3	(2) - (1)	-2.192	1.625	10	-4.474*	0.0012
	(4) - (1)	-2.237	1.568	10	-4.732**	0.00080
	(4) - (3)	-2.164	1.936	10	-3.707*	0.0041
	(2) - (3)	-2.119	1.730	10	-4.063**	0.0023
C3	(2) - (1)	-2.653	1.498	10	-5.874***	0.00016
	(4) - (1)	-2.506	1.592	10	-5.220**	0.00039
	(4) - (3)	-2.519	1.863	10	-4.485**	0.0012
	(2) - (3)	-2.666	1.745	10	-5.069**	0.00049
P3	(2) - (1)	-2.515	1.803	10	-4.626**	0.00094
	(4) - (1)	-2.301	1.754	10	-4.350**	0.0014
	(4) - (3)	-2.549	1.883	10	-4.489**	0.0012
	(2) - (3)	-2.763	1.915	10	-4.786**	0.00074
F8	(2) - (1)	-1.702	1.508	10	-3.743*	0.0038
	(4) - (1)	-1.050	1.103	10	-3.158*	0.010
	(4) - (3)	-0.903	1.408	10	-2.127	0.059
	(2) - (3)	-1.555	1.574	10	-3.276*	0.0083
F4	(2) - (1)	-2.131	1.618	10	-4.367**	0.0014
	(4) - (1)	-1.772	1.326	10	-4.431**	0.0013
	(4) - (3)	-1.810	1.864	10	-3.221*	0.0092
	(2) - (3)	-2.169	1.636	10	-4.398**	0.0013
C4	(2) - (1)	-2.590	1.701	10	-5.048**	0.00050
	(4) - (1)	-2.155	1.400	10	-5.105**	0.00046
	(4) - (3)	-2.463	2.119	10	-3.854*	0.0032
	(2) - (3)	-2.897	2.078	10	-4.624**	0.00094
P4	(2) - (1)	-3.018	1.735	10	-5.768***	0.00018
	(4) - (1)	-2.200	1.595	10	-4.575**	0.0010
	(4) - (3)	-2.199	1.874	10	-3.891*	0.0030
	(2) - (3)	-3.017	1.873	10	-5.344**	0.00033

条件: (1)DN+Iru, (2)DN+Aru, (3)SN+Aru, (4)SN+Iru,

Bonferroni の方法による調整, 有意水準; $p = \alpha/c$, $c=4$

$\alpha < .05 \rightarrow *p < .0125$, $\alpha < .01 \rightarrow **p < .0025$, $\alpha < .001 \rightarrow ***p < .00025$.

表 7.12: 多重比較 (600-700ms) ; 対応のある t 検定 (Bonferroni の方法)

電極	条件	差の平均値	標準偏差	自由度	t 値	有意確率 (P 値)
P3	(2) - (1)	1.926	1.393	10	4.586**	0.0010
	(4) - (1)	1.593	1.867	10	2.830	0.018
	(4) - (3)	1.051	1.911	10	1.824	0.098
	(2) - (3)	1.383	2.606	10	1.760	0.11
C4	(2) - (1)	1.482	1.448	10	3.396*	0.0068
	(4) - (1)	1.094	1.523	10	2.383	0.038
	(4) - (3)	0.902	2.262	10	1.323	0.22
	(2) - (3)	1.290	2.330	10	1.837	0.096
P4	(2) - (1)	1.435	1.561	10	3.048*	0.012
	(4) - (1)	1.520	1.403	10	3.592*	0.0049
	(4) - (3)	1.407	1.839	10	2.538	0.029
	(2) - (3)	1.323	2.617	10	1.676	0.12

条件: (1)DN+Iru, (2)DN+Aru, (3)SN+Aru, (4)SN+Iru,

Bonferroni の方法による調整, 有意水準; $p = \alpha/c$, $c=4$

$\alpha < .05 \rightarrow *p < .0125$, $\alpha < .01 \rightarrow **p < .0025$, $\alpha < .001 \rightarrow ***p < .00025$.

MATLAB Source code

本研究で t 検定の解析に用いた MATLAB プログラムを付録に載せておく。作成したのは、時系列方向と時系列・トライアル方向に t 検定を行うプログラムである。

◆ 時系列 t 検定

◆ 時系列・トライアル t 検定

ここで、時系列とは、刺激提示後の直接的な反応時間を意味する。また、時系列・トライアルは、反応時間に加え、試行回数を単位とするトライアルを同時に考慮した二次元の時間を意味する。時系列のスケールは、せいぜい1秒程度であるのに対し、時系列・トライアルのスケールでは、さらに1時間程度の実験時間も同時に考慮することになる。なお、本研究で新しく提案したのは、時系列・トライアル方向の t 検定である。

時系列 t 検定

このプログラムは、時系列方向全てに t 検定を行う。比較する波形の差が、陰性と陽性のどちらに傾いたかが一目で分かるように、得られた t 値の領域は色分けしてある。青色が Negative、黄色が Positive である。緑の水平線は、危険水準 $p < 0.05$ における t 値を示す。この水準を超えた時間ポイントでは、95%の有意確率で、差があることを意味する。

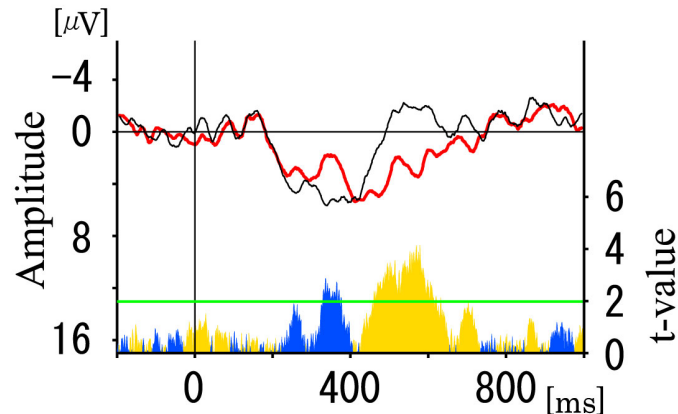


図 7.3: 時系列 t 検定の例

時系列・トライアル t 検定

このプログラムは、試行の前半と後半で被験者の読み方の変化を知るために考案したものである。時系列 t 検定の方法を拡張し、さらにトライアル方向にも、ずらしながら t 検定を行う。この解析では、以下の2つのパラメータが重要になる。

- 解析フレーム
- ずらし試行数

解析フレームは、1ステップあたりに含まれる試行数として定義する。また、ずらし試行数は、解析フレームをずらす試行単位である。

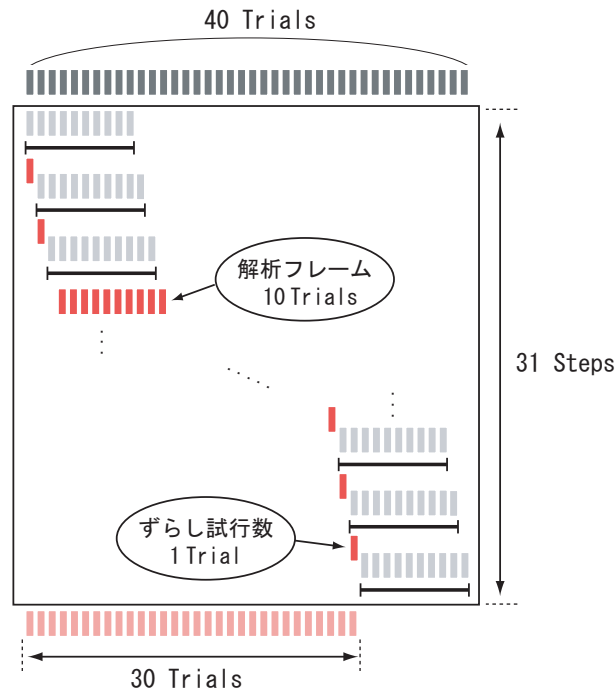


図 7.4: 2つのパラメータ

今回、解析フレームは、10 試行を 1 ステップとして決めた。これは、加算平均を行うサンプル数に相当し、多ければ多いほど、ノイズの影響を排除できるため、精度は向上する。しかし、試行数が多すぎると、時間分解能が低下し、トライアル方向の変化を見ることができない。すなわち、時間分解能を優先させるか、精度を優先させるかは、トレードオフの関係にある。

ずらし試行数については、少なければ少ないほど時間分解能が向上するが、それに伴って、重複するデータが生じるため、1 ステップ辺りの情報量も少なくなる。逆に、ずらし試行数を多くすると、1 ステップ辺りの情報量は多くなるが、その分、時間分解能は低下する。今回は、試行全体で読み手の変化を知ることが目的なので、時間分解能を優先した。よって、ずらし試行数は、1 試行とした。

赤色で色づけされた領域は、危険水準 $p < 0.05$ において、有意となった t 値を示している。あるステップのある時間ポイント 1 点において、青色の領域の中に赤色が含まれていれば、波形の差が Negative に有意となっていることを示す。同様に、黄色の領域の中に赤色が含まれていれば、Positive に有意となっていることを示す。

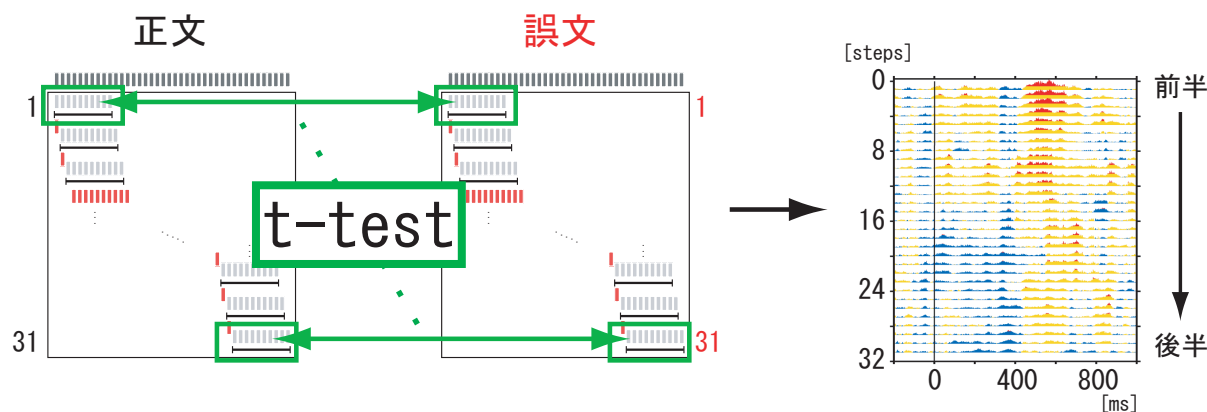


図 7.5: 時系列・トライアル t 検定の概念図

既知の問題

しかし、本研究で用いた時系列 t 検定と時系列・トライアル t 検定は、ともに深刻な問題を抱えている。それは、 t 検定を繰り返し行くと、検定の多重性に引っかかるということである。つまり、全ての検定結果を同時に比較しようとする、指数関数的に有意確率が低下するのである。よって、時系列方向と時系列・トライアル方向における比較を同時に行うことはできない。もし、そのような比較を行なったとすれば、当然、危険水準 $p < 0.05$ は、不正確になる。よって、この解析における統計判断は、ある 1 点の時間を参考にするべきである。ただし、 t 値自体は、検定統計量であり、検定の多重性とは無関係に一意に計算される値である。つまり、有意である、なしの判定を行わない限り、 t 値の大きさが、直接的に波形差の効果量を表していると考えても問題はない。本手法は、有意性の指標としては、参考程度に留めるべきであるが、多重性の問題を踏まえた上でうまく活用すれば、今まで容易に知ることができなかった、被験者の時間的変化を捉えることが可能になると考えられる。

対応のあるなし

今回、被験者個人の t 検定は対応のない場合、全体の t 検定は対応のある場合として解析を行った。対応のない t 検定では、等分散性の仮定を満たすものとして、スチューデントの t 検定 (Student's t -test) を行った。

- ◆ 対応のない t 検定 (個人用)
- ◆ 対応のある t 検定 (全体用)

プログラムの構成

よって、2種の解析法と対応のあるなしの組み合わせを考慮するとプログラムは、全部で以下の4種類が必要になる。

1. 時系列・対応なし
2. 時系列・対応あり
3. 時系列・トライアル・対応なし
4. 時系列・トライアル・対応あり

それぞれのプログラムは、プロットファイルから直接制御できるようにしてあり、解析を行うデータヘパスが適切に記述してあるファイルならば、読み込んですぐに実行できる。

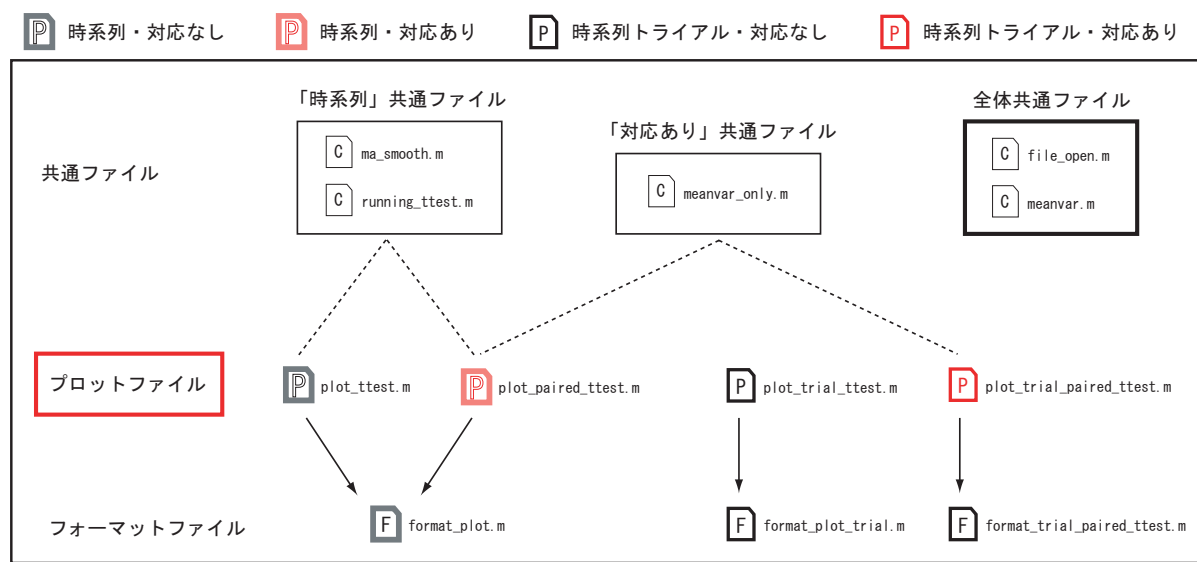


図 7.6: ファイル構造

file_open.m

適切な形式でファイルを開くプログラム.

```
1 function data = file_open(fname, col)
2 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
3 %
4 %      (入力ファイル: Load File ASCII type)
5 %      注: Tab 区切りの CSV ファイルでもよい.
6 %
7 %      [Input]
8 %          fname : 'ファイル名'
9 %          col   : データの列数
10 %
11 %      [Output]
12 %          data  : エポック生データ
13 %
14 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
15 %-----
16 % ファイルの読み込み (8 電極、つまり 8 列を想定している)
17 %-----
18 %
19 % F7 F3 C3 P3 F8 F4 C4 P4
20 % -----
21 % |
22 % | - - - - - |<-- (エポックの長さ) * (加算回数)
23 % | .           . |          epoch          n_ave
24 % | .           . |
25 % |
26 % | .           . |
27 % | .           . |
28 % |
29 % | - - - - - |
30 % |
31 % -----
32 %
33
34 if nargin < 2, col = 8; end
35
36 fid=fopen(fname,'r');
37 data=fscanf(fid,'%e',[col inf]);
38 fclose(fid);
39
40 % 行列の転置 (読み込み時のファイルと同じ行列の形にする.)
41 data=data';
```

meanvar.m

エポックファイルの各列に対し、平均と分散を求めるプログラム. ベースライン補正を行う.

```
1 function [xmean, xvar, n_ave] = meanvar(data, epoch, base)
2 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
3 %
4 %      [Input]
5 %          data : サンプルデータ
6 %          epoch : エポックのサンプル数
7 %          base  : ベースライン補正のサンプル数
8 %
9 %      [Output]
10 %          xmean : 平均値の行列
```

```

11 %          xvar : 分散の行列
12 %          n_ave : 加算回数 (標本数)
13 %
14 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
15
16 if nargin < 2, epoch = 1200; end
17 if nargin < 3, base = 200; end
18
19 %-----
20 % 平均値 と 分散 を求める
21 %-----
22 [row col] = size(data) ;
23 n_ave = row / epoch;    % 加算平均回数
24
25 for m=1:col
26
27     elec = reshape(data(:,m), epoch, n_ave) ; % 配列の構造の変更
28     mu = sum(elec') / n_ave ;                % 平均値
29     d = elec - repmat(mu',1, n_ave) ;        % サンプルと平均値の差
30     s = sum(d' .* d') / (n_ave - 1) ;        % 不偏分散
31
32     mu = mu - sum(mu(1:base)) / base;        % ベースライン補正
33
34     if m==1
35         xmean= mu';
36         xvar = s';
37     else
38         xmean= [xmean mu'];
39         xvar = [xvar s' ];
40     end
41
42 end

```

meanvar_only.m

エポックファイルの各列に対し、平均と分散を求めるプログラム。ベースライン補正を行わない。

```

1 function [xmean, xvar, n_ave] = meanvar_only(data, epoch)
2 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
3 %
4 % [Input]
5 %     data : サンプルデータ
6 %     epoch : エポックのサンプル数
7 %
8 % [Output]
9 %     xmean : 平均値の行列
10 %     xvar : 分散の行列
11 %     n_ave : 加算回数 (標本数)
12 %
13 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
14
15 if nargin < 2, epoch = 1200; end
16
17 %-----
18 % 平均値 と 分散 を求める
19 %-----
20 [row col] = size(data) ;
21 n_ave = row / epoch;    % 加算平均回数
22
23 for m=1:col

```

```

24
25     elec = reshape(data(:,m), epoch, n_ave) ; % 配列の構造の変更
26     mu   = sum(elec') / n_ave ;             % 平均値
27     d     = elec - repmat(mu',1, n_ave) ;    % サンプルと平均値の差
28     s     = sum(d' .* d') / (n_ave - 1) ;    % 不偏分散
29
30     if m==1
31         xmean= mu';
32         xvar  = s';
33     else
34         xmean= [xmean mu'];
35         xvar  = [xvar  s' ];
36     end
37
38 end

```

ma_smooth.m

コンボリューションを用いた移動平均処理.

```

1  function MO = ma_smooth(MI, n)
2  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
3  %
4  %   [Input]
5  %   MI: 移動平均の処理前のデータ (行列)
6  %   n : 移動平均サンプル数
7  %
8  %   [Output]
9  %   MO: 移動平均の処理後のデータ (行列)
10 %
11 %
12 %   参考文献: 「MATLAB 活用ブック」, p77-78, 小林一行著
13 %
14 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
15 %-----
16 % コンボリューションを用いて移動平均を行う
17 %-----
18
19 % Linear System
20 h = repmat(1/n, 1, n);
21
22 [row col] = size(MI) ;
23
24 for m=1:col
25
26     ma = conv(MI(:,m), h); % 配列
27
28
29     % 鈍った両端のサンプルを削る
30     ma(      1: n-1)=[]; % 先頭 (length: row+n-1 -> row      )
31
32     ma(row-n+2: row)=[]; % 後尾 (length: row      -> row-n+1)
33
34     if m==1
35         MO = ma;
36     else
37         MO = [MO ma];
38     end
39
40 end

```

running_ttest.m

対応のない t 検定 (Student's T-test) を実行するプログラム. 等分散性を仮定している
ので注意すること. 等分散性が仮定できない場合は, Welch の t 検定を用いること.

```
1 function [P, T, M1, M2, df]=running_ttest(data1, data2, param)
2 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
3 %
4 % [Input]
5 % data1 : データ 1 <-- 誤文
6 % data2 : データ 2 <-- 正文
7 % param : [electrode epoch base] の情報
8 %
9 % 平均値の差は、(誤文 - 正文) である.
10 % よって、t 値は、
11 %     負 が Negative
12 %     正 が Positive
13 %     とそのまま読める.
14 %
15 % 参考 URL : by Cyril Goutte
16 % http://www.inrialpes.fr/is2/people/goutte/Matlab/matlab.html
17 %
18 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
19 %
20 electrode = param(1); % 電極の数
21 epoch     = param(2); % エポック
22 base      = param(3); % ベースライン
23
24
25 % 比較する 2 つの群の 平均 と 分散 をそれぞれ求める.
26 [M1 V1 n1] = meanvar(data1, epoch, base);
27 [M2 V2 n2] = meanvar(data2, epoch, base);
28
29
30 df = n1 + n2 - 2 ;          % 自由度
31
32 % 併合分散 (2 標本の分散をプールして考える.)
33 Pvar = ((n1 - 1) * V1 + (n2 - 1) * V2) / df ;
34 PPvar = Pvar * (1/n1 + 1/n2) ;
35 D = M1 - M2 ;              % 平均値の差
36
37 %-----
38 % 以下の関数では、項別に行列計算を実行できないので、
39 % 配列として 1 列毎に計算し、後に連結している.
40 %
41 %     ・sqrt(行列)
42 %     ・(スカラー) ./ (行列) <-(逆行列になる.)
43 %     ・betainc(行列)
44 %
45 % (実行したい処理)
46 %     t = (m1 - m2) / sqrt( pvar * (1/n1 + 1/n2)) ; % t 値
47 %     p = betainc( df / (df + t.*t), df/2, 0.5) ; % 有意確率
48 %
49 %-----
50
51 for i=1:electrode
52
53     T_arr = D(:,i) ./ sqrt( PPvar(:,i) ) ; % t 値の計算
54     P_arr = betainc( df ./ (df + T_arr .* T_arr), df/2, 0.5) ; % 有意確率
55
56     % 配列の連結
57     if i==1
58         T = T_arr;
59         P = P_arr;
60     else
```

```

61         T = [T T_arr];           % t 値
62         P = [P P_arr];           % p 値
63     end
64 end

```

plot_ttest.m

処理対象のデータへのパスが指定してあるファイルを読み込んで、対応のない t 検定の結果を時系列に一括で描画するプログラム。

```

1  function plot_ttest(fpath)
2  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
3  %
4  %   [Input]
5  %   fpath : 'ファイル名'
6  %
7  %   fpath のファイル形式
8  %   f1 と f2 を比較する. (スペース区切り)
9  %   -----
10 %   f1      誤文ファイル      |f1 f2 fname|
11 %   f2      正文ファイル      |      .      |
12 %   fname   保存する名前      |      .      |
13 %   -----
14 %
15 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
16
17 [f1 f2 fname]=textread(fpath, '%s%s%s'); % 各列を配列に格納
18 [row col] = size(f1) ;
19
20 electrode = 8; % 電極の数
21 epoch     = 1200; % エポック
22 base      = 200; % ベースライン
23 param = [electrode epoch base];
24
25 n = 11; % 移動平均サンプル数 (奇数)
26
27
28 for i=1:row
29
30     figure(i);
31
32     % データを開く
33     data1 = file_open(char(f1(i)), electrode);
34     data2 = file_open(char(f2(i)), electrode);
35
36     [P, T, M1, M2, df]=running_ttest(data1, data2, param);
37
38     % コンボリューションを用いた移動平均処理
39     % 移動平均を行わない場合はコメントアウトすること.
40     M1 = ma_smooth(M1, n);
41     M2 = ma_smooth(M2, n);
42
43
44     subplot(3,4,1) ; % F7
45     format_plot(P(:,1), T(:,1), M1(:,1), M2(:,1), df);
46
47     subplot(3,4,2) ; % F3
48     format_plot(P(:,2), T(:,2), M1(:,2), M2(:,2), df);
49
50     subplot(3,4,6) ; % C3
51     format_plot(P(:,3), T(:,3), M1(:,3), M2(:,3), df);

```

```

52
53     subplot(3,4,10); % P3
54     format_plot(P(:,4), T(:,4), M1(:,4), M2(:,4), df);
55
56     subplot(3,4,4) ; % F8
57     format_plot(P(:,5), T(:,5), M1(:,5), M2(:,5), df);
58
59     subplot(3,4,3) ; % F4
60     format_plot(P(:,6), T(:,6), M1(:,6), M2(:,6), df);
61
62     subplot(3,4,7) ; % C4
63     format_plot(P(:,7), T(:,7), M1(:,7), M2(:,7), df);
64
65     subplot(3,4,11); % P4
66     format_plot(P(:,8), T(:,8), M1(:,8), M2(:,8), df);
67
68
69     subplot(3,4,9); % ラベル
70     format_plot(P(:,8), T(:,8), M1(:,8), M2(:,8), df, 1); % dummy plot
71
72 %-----
73 % グラフの保存
74 %-----
75 fname(i)
76
77 %eval( ['print -dill ',char(fname(i))] ); % Illustrator 形式で保存
78 eval( ['print -depsc2 ',char(fname(i))] ); % EPS2 COLOR 形式で保存
79 close(i);
80
81 end

```

plot_paired_ttest.m

対応のある t 検定を実行し、一括描画するプログラム.

```

1  function plot_paired_ttest(fpath_set)
2  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
3  %
4  %   [Input]
5  %   fpath_set : file_path へのパスが書かれたファイル名
6  %
7  % -----
8  %
9  %   file_path : 'ファイル名' -> 保存名にもなる
10 %
11 %               file_path のファイル形式
12 %   f1 と f2 の差を比較する. (スペース区切り)
13 % -----
14 %   f1   誤文           S1 | f1   f2 | fname
15 %   f2   正文           S2 |   .   |   .
16 %   -----           . |   .   |   .
17 %                   . |   .   |   .
18 %                   Sn |   .   |   .
19 % -----
20 %               S: 被験者
21 %
22 %               注: このプログラムで fname は使用しない.
23 %               保存名は、file_path から付ける.
24 %
25 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
26 % -----
27 % デフォルト設定

```



```

28 % -----
29 savepath = './data/picture/';
30
31 electrode = 8; % 電極の数
32 epoch = 1200; % エポック
33 base = 200; % ベースライン
34 param = [electrode epoch base];
35
36 ma_n = 11; % 移動平均サンプル数 (奇数)
37
38
39 % -----
40 % ファイルの読み込み
41 % -----
42
43 fpath = textread(fpath_set, '%s'); % fpath を配列として格納
44 roop = length(fpath); % fpath 読み込みの繰り返し数
45
46
47 for h=1:roop
48
49     figure(h);
50
51     [f1 f2 fname]=textread(char(fpath(h)), '%s%s%s'); % 各列を配列に格納
52     [row col] = size(f1) ;
53
54
55     % 被験者分だけ繰り返す.
56     for i=1:row
57
58         % データを開く
59         data1 = file_open(char(f1(i)), electrode);
60         data2 = file_open(char(f2(i)), electrode);
61
62         % 被験者毎に平均・分散を求める
63         [M1 V1 n1] = meanvar(data1, epoch, base);
64         [M2 V2 n2] = meanvar(data2, epoch, base);
65
66
67         % 被験者全員分の平均値
68         if i==1
69             MM1 = M1;
70             MM2 = M2;
71         else
72             MM1 = [MM1; M1];
73             MM2 = [MM2; M2];
74         end
75
76     end
77
78
79     % 被験者全員分の平均値の差を求める.
80     DM = MM1 - MM2;
81
82     % 差の 平均 と 分散 をそれぞれ求める.(基線補正は行わない.)
83     [Md Vd nd] = meanvar_only(DM, epoch);
84     [drow dcol] = size(Md);
85
86     df = nd - 1; % 自由度
87
88
89     % 上の結果を用いて、各電極 (F7,F3,C3,P3,F8,F4,C4,P4) の t 値を求める.
90     for j=1:dcol
91
92         T_arr = Md(:,j) ./ sqrt( Vd(:,j)/nd ) ; % t 値の計算
93         P_arr = betainc( df ./ (df + T_arr .* T_arr), df/2, 0.5) ; % 有意確率

```

```

94
95         % 配列の連結
96         if j==1
97             T = T_arr;
98             P = P_arr;
99         else
100             T = [T T_arr];           % t 値
101             P = [P P_arr];           % p 値
102         end
103     end
104
105
106     % 全体の平均・分散を求める。(基線補正は行わない. 行っても変わらない.)
107     [MMM1 VVV1 nnn1] = meanvar_only(MM1, epoch);
108     [MMM2 VVV2 nnn2] = meanvar_only(MM2, epoch);
109
110
111     % コンボリューションを用いた移動平均処理
112     % スムージングを行わない場合はコメントアウトすること.
113     MMM1 = ma_smooth(MMM1, ma_n);
114     MMM2 = ma_smooth(MMM2, ma_n);
115
116
117     % 対応のある t 検定の結果を描画する.
118     subplot(3,4,1) ; % F7
119     format_plot(P(:,1), T(:,1), MMM1(:,1), MMM2(:,1), df);
120
121     subplot(3,4,2) ; % F3
122     format_plot(P(:,2), T(:,2), MMM1(:,2), MMM2(:,2), df);
123
124     subplot(3,4,6) ; % C3
125     format_plot(P(:,3), T(:,3), MMM1(:,3), MMM2(:,3), df);
126
127     subplot(3,4,10); % P3
128     format_plot(P(:,4), T(:,4), MMM1(:,4), MMM2(:,4), df);
129
130     subplot(3,4,4) ; % F8
131     format_plot(P(:,5), T(:,5), MMM1(:,5), MMM2(:,5), df);
132
133     subplot(3,4,3) ; % F4
134     format_plot(P(:,6), T(:,6), MMM1(:,6), MMM2(:,6), df);
135
136     subplot(3,4,7) ; % C4
137     format_plot(P(:,7), T(:,7), MMM1(:,7), MMM2(:,7), df);
138
139     subplot(3,4,11); % P4
140     format_plot(P(:,8), T(:,8), MMM1(:,8), MMM2(:,8), df);
141
142
143     subplot(3,4,9); % ラベル
144     format_plot(P(:,8), T(:,8), MMM1(:,8), MMM2(:,8), df, 1); % dummy plot
145
146 %-----
147 % グラフの保存
148 %-----
149 str = char(fpath(h));
150 pat = '.txt';
151 sname = regexp(str, pat, ''); % 正規表現を用いて、文字列を削る.
152
153 savename=[savepath sname];
154 eval( ['print -depsc2 ',savename] ); % EPS2 COLOR 形式で保存
155 close(h);
156
157 end

```

format_plot.m

両軸プロットで、t 検定の結果を描画フォーマットを決めるプログラム. 対応のない t 検定 (plot_ttest.m)、対応のある t 検定 (plot_paired_ttest.m) の両方に用いる。

```
1 function format_plot(p,t,m1,m2,df,lbl)
2 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
3 %
4 %   [Input] ; p,t,m1,m2 は配列であること。
5 %   p :p 値
6 %   t :t 値
7 %   m1 :平均値 (誤文)
8 %   m2 :平均値 (正文)
9 %   df :自由度
10 %   lbl:ラベルの表示 -> 1:ON, 0:OFF(default)
11 %
12 %
13 %   参考:NIST「(米国) 標準技術局」より t 分布の数表を得た.
14 %   http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda3672.htm
15 %
16 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
17
18 if nargin < 6, lbl = 0; end
19
20 if df > 100, df = 100; end
21
22 % t 分布の 有意水準; 自由度 1..100
23 %-----
24 % p=0.01(両側検定)
25 %-----
26 p_01 = [ 63.657 9.925 5.841 4.604 4.032 3.707 3.499 3.355 3.250 3.169 ... % df. 1- 10
27         3.106 3.055 3.012 2.977 2.947 2.921 2.898 2.878 2.861 2.845 ... % df. 11- 20
28         2.831 2.819 2.807 2.797 2.787 2.779 2.771 2.763 2.756 2.750 ... % df. 21- 30
29         2.744 2.738 2.733 2.728 2.724 2.719 2.715 2.712 2.708 2.704 ... % df. 31- 40
30         2.701 2.698 2.695 2.692 2.690 2.687 2.685 2.682 2.680 2.678 ... % df. 41- 50
31         2.676 2.674 2.672 2.670 2.668 2.667 2.665 2.663 2.662 2.660 ... % df. 51- 60
32         2.659 2.657 2.656 2.655 2.654 2.652 2.651 2.650 2.649 2.648 ... % df. 61- 70
33         2.647 2.646 2.645 2.644 2.643 2.642 2.641 2.640 2.640 2.639 ... % df. 71- 80
34         2.638 2.637 2.636 2.636 2.635 2.634 2.634 2.633 2.632 2.632 ... % df. 81- 90
35         2.631 2.630 2.630 2.629 2.629 2.628 2.627 2.627 2.626 2.626 ]; % df. 91-100
36 p_01inf = 2.576 ; % df. ∞
37
38
39 %-----
40 % p=0.05(両側検定)
41 %-----
42 p_05 = [ 12.706 4.303 3.182 2.776 2.571 2.447 2.365 2.306 2.262 2.228 ... % df. 1- 10
43         2.201 2.179 2.160 2.145 2.131 2.120 2.110 2.101 2.093 2.086 ... % df. 11- 20
44         2.080 2.074 2.069 2.064 2.060 2.056 2.052 2.048 2.045 2.042 ... % df. 21- 30
45         2.040 2.037 2.035 2.032 2.030 2.028 2.026 2.024 2.023 2.021 ... % df. 31- 40
46         2.020 2.018 2.017 2.015 2.014 2.013 2.012 2.011 2.010 2.009 ... % df. 41- 50
47         2.008 2.007 2.006 2.005 2.004 2.003 2.002 2.002 2.001 2.000 ... % df. 51- 60
48         2.000 1.999 1.998 1.998 1.997 1.997 1.996 1.995 1.995 1.994 ... % df. 61- 70
49         1.994 1.993 1.993 1.993 1.992 1.992 1.991 1.991 1.990 1.990 ... % df. 71- 80
50         1.990 1.989 1.989 1.989 1.988 1.988 1.988 1.987 1.987 1.987 ... % df. 81- 90
51         1.986 1.986 1.986 1.986 1.985 1.985 1.985 1.984 1.984 1.984 ]; % df. 91-100
52 p_05inf = 1.960; % df. ∞
53
54
55 %-----
56 % デフォルト設定
57 %-----
58
59 % 自由度 df の t 分布の棄却水準
60 %rej = repmat(p_01(df), 1, 1200); % p=0.01(両側検定)
```

```

61 rej = repmat(p_05(df), 1, 1200); % p=0.05(両側検定)
62 alpha = 0.05;
63
64 % 0 基準線
65 zeroh = repmat(0, 1, 1200); % (水平方向: 電位差)
66
67 zerov = [-50 50]; % (垂直方向: 時間)
68 xv = [0 1]; % 水平方向の軸
69
70
71 % 目盛りの定義
72 yt1 = [-4 0 4 8 12 16]; % y 軸 (振幅)
73 yt2 = [0 4 8 12]; % y 軸 (t 値)
74 xt = [-200 0 200 400 600 800 1000]; % x 軸 (時間)
75
76 % 軸の外観の定義
77 hl1axis = [-200 1000 -7 17]; % y 軸 (振幅)
78 hl2axis = [-200 1000 0 24]; % y 軸 (t 値)
79
80
81 % 文字サイズの変更
82 set(0,'defaultuicontrolfontsize',4);
83 set(0,'defaultaxesfontsize',4);
84 set(0,'defaulttextfontsize',4);
85
86
87 % 色の定義 [r g b]
88 coln = [0 .3 1]; % Negative(青色)
89 colp = [1 .85 0]; % Positive(黄色)
90
91
92 % 軸の作成
93 x = linspace(-199, 1000, 1200); % ノーマル
94
95 del = (1200 - length(m1)) / 2 ; % 削られたサンプル分
96 xma = linspace(-199+del, 1000-del, length(m1)); % 移動平均用
97
98 %-----
99
100 if lbl==1
101
102 % ラベルの表示あり (plot はしない)
103
104 [haxes, hl1, hl2] = plotyy(x, -100, x, -100, 'plot'); % dummy plot
105 set(hl1, 'Color','r', 'LineWidth', 0.6);
106
107 set( haxes(1), 'YDir' , 'reverse' , ...
108 'TickDir' , 'out' , ...
109 'YColor' , 'k' , ...
110 'Box' , 'off' , ...
111 'PlotBoxAspectRatio',[3 2 1] , ...
112 'FontSize' , 6 , ...
113 'ytick' , yt1 , ...
114 'xtick' , xt );
115 axis(haxes(1), hl1axis); ylabel('Amplitude(\muV)');
116
117
118 hold on;
119 plot(x, zeroh, 'Color', 'k', 'LineWidth', 0.3); % 0 基準線 (水平)
120
121
122 axis(haxes(2), hl2axis);
123 set(haxes(2), 'TickDir' , 'out' , ...
124 'PlotBoxAspectRatio',[3 2 1] , ...
125 'FontSize' , 6 , ...
126 'ytick' , yt2 , ...

```

```

127         'xtick'      , xt );
128
129     axes(haxes(2)); ylabel('t-value');
130     hold on;
131
132     plot(xv, zeroV, 'Color', 'k', 'LineWidth', 0.3); % 0 基準線 (垂直)
133     plot(x, rej, 'Color', 'g'); % 棄却域
134
135     title( ['\it{自由度 = }' num2str(df)], 'FontSize',6);
136     text(350, p_05(df)+0.5, '\downarrow', 'FontSize',6);
137     text(100, p_05(df)+2, ['p<' num2str(alpha) ...
138         ' における t=' num2str(p_05(df))]);
139
140
141 else
142
143 % ラベルの表示なし
144
145     [haxes, hl1, hl2] = plotyy(xma, m1, x, t, 'plot', 'area');
146     set(hl1, 'Color','r', 'LineWidth', 0.6);
147     axis(haxes(1), hl1axis); % ylabel('Amplitude(\mu V)');
148     set( haxes(1), 'YDir'      , 'reverse'      , ...
149         'TickDir'   , 'out'      , ...
150         'YColor'    , 'k'        , ...
151         'Box'       , 'off'      , ...
152         'PlotBoxAspectRatio',[3 2 1] , ...
153         'ytick'     , yt1        , ...
154         'xtick'     , xt );
155
156     hold on;
157     plot(xma, m2, 'Color', 'k', 'LineWidth', 0.3);
158     plot(x, zeroH, 'Color', 'k', 'LineWidth', 0.3); % 0 基準線 (水平)
159
160
161     axis(haxes(2), hl2axis);
162     set(hl2, 'LineWidth', 0.1 , ...
163         'FaceColor', colp , ...
164         'EdgeColor', colp);
165
166     set(haxes(2), 'TickDir'   , 'out'      , ...
167         'PlotBoxAspectRatio',[3 2 1] , ...
168         'ytick'     , yt2        , ...
169         'xtick'     , xt );
170
171     axes(haxes(2)); % ylabel('t-value');
172     hold on;
173
174     % 上下を反転し、負の t-value を絶対値で表示する.
175     area(x, -t , 'LineWidth', 0.1 , ...
176         'FaceColor', coln , ...
177         'EdgeColor', coln);
178
179     plot(xv, zeroV, 'Color', 'k', 'LineWidth', 0.3); % 0 基準線 (垂直)
180     plot(x, rej, 'Color', 'g'); % 棄却域
181
182
183     % グラフの重ねあわせで隠れた軸を表示する.
184     set( haxes(1), 'Layer', 'Top');
185     set( haxes(2), 'Layer', 'Top');
186
187 end

```

plot_trial_ttest.m

時系列方向に解析を行い、かつトライアルをずらしながら対応のないt検定を行うプログラム.

```
1 function plot_trial_ttest(fpath)
2 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
3 %
4 %
5 % [Input]
6 % fpath : 'ファイル名'
7 %
8 % fpath のファイル形式
9 % f1 と f2 を比較する. (スペース区切り)
10 % -----
11 % f1 誤文ファイル |f1 f2 fname|
12 % f2 正文ファイル | . |
13 % fname 保存する名前 | . |
14 % -----
15 %
16 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
17
18 [f1 f2 fname]=textread(fpath, '%s%s%s'); % 各列を配列に格納
19 [row col] = size(f1) ;
20
21 electrode = 8; % 電極の数
22 epoch = 1200; % エポック
23 base = 200; % ベースライン
24 param = [electrode epoch base];
25
26
27 frame = 10; % 解析を行う試行フレーム数
28 fshift = 1; % 移動試行数
29 frm_n = frame * epoch; % 解析を行う試行サンプル数
30 sft_n = fshift * epoch; % 移動サンプル数
31
32
33 for i=1:row
34
35     figure(i);
36
37     % データを開く
38     data1 = file_open(char(f1(i)), electrode);
39     data2 = file_open(char(f2(i)), electrode);
40
41
42     [xrow xcol] = size(data1) ;
43     n_ave = xrow / epoch; % 加算平均回数
44
45     rep = (n_ave - frame) / fshift; % 繰り返し回数
46
47
48     for j=0:rep
49
50         curr = j*sft_n;
51
52         ddata1 = data1(curr+1:curr+frm_n, :);
53         ddata2 = data2(curr+1:curr+frm_n, :);
54
55         [P, T, M1, M2, df]=running_ttest(ddata1, ddata2, param);
56
57
58         subplot(3,4,1) ; % F7
59         format_plot_trial(P(:,1), T(:,1), df, rep, j);
60
```



```

61         subplot(3,4,2) ; % F3
62         format_plot_trial(P(:,2), T(:,2), df, rep, j);
63
64         subplot(3,4,6) ; % C3
65         format_plot_trial(P(:,3), T(:,3), df, rep, j);
66
67         subplot(3,4,10); % P3
68         format_plot_trial(P(:,4), T(:,4), df, rep, j);
69
70         subplot(3,4,4) ; % F8
71         format_plot_trial(P(:,5), T(:,5), df, rep, j);
72
73         subplot(3,4,3) ; % F4
74         format_plot_trial(P(:,6), T(:,6), df, rep, j);
75
76         subplot(3,4,7) ; % C4
77         format_plot_trial(P(:,7), T(:,7), df, rep, j);
78
79         subplot(3,4,11); % P4
80         format_plot_trial(P(:,8), T(:,8), df, rep, j);
81
82     end
83
84
85     title( ['\it{自由度 = }' num2str(df) ...
86           '\it{, 繰り返し = }' num2str(rep+1) ...
87           '\it{, フレーム試行 = }' num2str(frame) ...
88           '\it{, 移動試行 = }' num2str(fshift) ], 'FontSize',5);
89
90
91 %-----
92 % グラフの保存
93 %-----
94 fname(i)
95 eval( ['print -depsc2 ',char(fname(i))] );
96 close(i);
97
98 end

```

format_plot_trial.m

plot_trial_ttest.m の描画フォーマットを決めるプログラム.

```

1  function format_plot_trial(p,t,df,rep,mov)
2  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
3  %
4  %   [Input] ; p,t は配列であること。
5  %   p       :p 値
6  %   t       :t 値
7  %   df      :自由度
8  %   rep     :繰り返し数
9  %   mov     :移動値
10 %
11 %
12 %   参考:NIST 「(米国) 標準技術局」より t 分布の数表を得た.
13 %   http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda3672.htm
14 %
15 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
16
17 if df > 100, df = 100; end
18
19 % t 分布の 有意水準; 自由度 1..100

```

```

20 %-----
21 % p=0.01(両側検定)
22 %-----
23 p_01 = [ 63.657 9.925 5.841 4.604 4.032 3.707 3.499 3.355 3.250 3.169 ... % df. 1- 10
24          3.106 3.055 3.012 2.977 2.947 2.921 2.898 2.878 2.861 2.845 ... % df. 11- 20
25          2.831 2.819 2.807 2.797 2.787 2.779 2.771 2.763 2.756 2.750 ... % df. 21- 30
26          2.744 2.738 2.733 2.728 2.724 2.719 2.715 2.712 2.708 2.704 ... % df. 31- 40
27          2.701 2.698 2.695 2.692 2.690 2.687 2.685 2.682 2.680 2.678 ... % df. 41- 50
28          2.676 2.674 2.672 2.670 2.668 2.667 2.665 2.663 2.662 2.660 ... % df. 51- 60
29          2.659 2.657 2.656 2.655 2.654 2.652 2.651 2.650 2.649 2.648 ... % df. 61- 70
30          2.647 2.646 2.645 2.644 2.643 2.642 2.641 2.640 2.640 2.639 ... % df. 71- 80
31          2.638 2.637 2.636 2.636 2.635 2.634 2.634 2.633 2.632 2.632 ... % df. 81- 90
32          2.631 2.630 2.630 2.629 2.629 2.628 2.627 2.627 2.626 2.626 ]; % df. 91-100
33 p_01inf = 2.576 ; % df. ∞
34
35
36 %-----
37 % p=0.05(両側検定)
38 %-----
39 p_05 = [ 12.706 4.303 3.182 2.776 2.571 2.447 2.365 2.306 2.262 2.228 ... % df. 1- 10
40          2.201 2.179 2.160 2.145 2.131 2.120 2.110 2.101 2.093 2.086 ... % df. 11- 20
41          2.080 2.074 2.069 2.064 2.060 2.056 2.052 2.048 2.045 2.042 ... % df. 21- 30
42          2.040 2.037 2.035 2.032 2.030 2.028 2.026 2.024 2.024 2.023 ... % df. 31- 40
43          2.020 2.018 2.017 2.015 2.014 2.013 2.012 2.011 2.010 2.009 ... % df. 41- 50
44          2.008 2.007 2.006 2.005 2.004 2.003 2.002 2.002 2.001 2.000 ... % df. 51- 60
45          2.000 1.999 1.998 1.998 1.997 1.997 1.996 1.995 1.995 1.994 ... % df. 61- 70
46          1.994 1.993 1.993 1.993 1.992 1.992 1.991 1.991 1.990 1.990 ... % df. 71- 80
47          1.990 1.989 1.989 1.989 1.988 1.988 1.988 1.987 1.987 1.987 ... % df. 81- 90
48          1.986 1.986 1.986 1.986 1.985 1.985 1.985 1.984 1.984 1.984 ]; % df. 91-100
49 p_05inf = 1.960; % df. ∞
50
51
52 %-----
53 % デフォルト設定
54 %-----
55 % 自由度 df の t 分布の棄却水準
56 %rej = repmat(p_01(df), 1, 1200); % p=0.01(両側検定)
57 rej = repmat(p_05(df), 1, 1200); % p=0.05(両側検定)
58 alpha = 0.05;
59
60 % 目盛りの定義
61 xt = [-200 0 200 400 600 800 1000]; % x 軸 (時間)
62
63 % 軸の外観の定義
64 hlaxis = [-200 1000 0 Inf]; % y 軸 (t 値)
65
66 % 文字サイズの変更
67 set(0,'defaultuicontrolfontsize',4);
68 set(0,'defaultaxesfontsize',4);
69 set(0,'defaulttextfontsize',4);
70
71 % 色の定義 [r g b]
72 coln = [0 .3 1]; % Negative(青色)
73 colp = [1 .85 0]; % Positive(黄色)
74
75 % 軸の作成
76 x = linspace(-199, 1000, 1200); % ノーマル
77 %-----
78
79 vshift = 5;
80 vtop = (rep+1) * vshift;
81
82 vsm = vshift * mov;
83 vsmline = repmat(-vsm, 1, 1200); % 下半分塗りつぶし基準
84
85 % 正 (陽性成分) の t-value を絶対値で表示する.

```

```

86     tp = vtop + t - vsm;
87     area(x, tp, 'LineWidth', 0.1 , ...
88           'FaceColor', 'r' , ...
89           'EdgeColor', 'r' );
90
91
92     axis(gca, haxis);
93
94     set(gca, 'TickDir' , 'out'
95           'PlotBoxAspectRatio',[2 3 1] , ...
96           'xtick' , xt );
97     % ylabel('t-value');
98
99     hold on;
100
101
102     % 有意水準を超える値を有意水準に丸め込む
103     t_ns = t;
104     t_ns(t < -p_05(df)) = -p_05(df);
105     t_ns(t > p_05(df)) = p_05(df);
106
107     tp_ns = vtop + t_ns - vsm;
108     area(x, tp_ns, 'LineWidth', 0.1 , ...
109           'FaceColor', colp , ...
110           'EdgeColor', colp);
111
112
113     % 上下を反転し、負（陰性成分）の t-value を絶対値で表示する。
114     tn = vtop - t - vsm;
115     area(x, tn, 'LineWidth', 0.1 , ...
116           'FaceColor', 'r' , ...
117           'EdgeColor', 'r' );
118
119
120     tn_ns = vtop - t_ns - vsm;
121     area(x, tn_ns, 'LineWidth', 0.1 , ...
122           'FaceColor', coln , ...
123           'EdgeColor', coln);
124
125
126     % 下半分を塗りつぶす
127     area(x, vtop + vsmline, 'LineWidth', 0.1 , ...
128           'FaceColor', 'w' , ...
129           'EdgeColor', 'w' );
130
131
132     rej = vtop + rej - vsm;
133
134     % 棄却域を表示しない場合は、消すこと。
135     % plot(x, rej, 'Color', 'g', 'LineWidth', 0.1); % 棄却域
136
137
138     if rep == mov,
139
140         % 0 基準線
141         zero = [0 (vshift+vtop)]; % (垂直方向: 時間)
142         xv = [0 1]; % 水平方向の軸
143
144         plot(xv, zero, 'Color', 'k', 'LineWidth', 0.3); % 0 基準線 (垂直)
145
146         xlabel(['p<' num2str(alpha) ' ' における t=' num2str(p_05(df))]);
147
148     end
149
150     % グラフの重ねあわせで隠れた軸を表示する。
151     set( gca, 'Layer', 'Top');

```

plot_trial_paired_ttest.m

時系列方向に解析を行い、かつトライアルをずらしながら対応のある t 検定を行うプログラム.

```

1 function plot_trial_paired_ttest(fpath_set)
2 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
3 %
4 % [Input]
5 % fpath_set : file_path へのパスが書かれたファイル名
6 %
7 % -----
8 %
9 % file_path : 'ファイル名' -> 保存名にもなる
10 %
11 % file_path のファイル形式
12 % f1 と f2 の差を比較する. (スペース区切り)
13 % -----
14 % f1 誤文          S1 | f1    f2 | fname
15 % f2 正文          S2 | .    . | .
16 % -----          . | .    . | .
17 %                  . | .    . | .
18 %                  Sn | .    . | .
19 % -----
20 %                  S:被験者
21 %
22 % 注: このプログラムで fname は使用しない.
23 % 保存名は、file_path から付ける.
24 %
25 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
26 % -----
27 % デフォルト設定
28 % -----
29 %
30 % savepath = './data/picture/';
31 %
32 % electrode = 8; % 電極の数
33 % epoch = 1200; % エポック
34 % base = 200; % ベースライン
35 % param = [electrode epoch base];
36 %
37 %
38 % frame = 10; % 解析を行う試行フレーム数
39 % fshift = 1; % 移動試行数
40 % frm_n = frame * epoch; % 解析を行う試行サンプル数
41 % sft_n = fshift * epoch; % 移動サンプル数
42 %
43 %
44 % -----
45 % ファイルの読み込み
46 % -----
47 %
48 % fpath = textread(fpath_set, '%s'); % fpath を配列として格納
49 % roop = length(fpath); % fpath 読み込みの繰り返し数
50 %
51 %
52 % for h=1:roop
53 %
54 %     figure(h);
55 %
56 %     [f1 f2 fname]=textread(char(fpath(h)), '%s%s%s'); % 各列を配列に格納
57 %     [row col] = size(f1) ;
58 %
59 %
60 %     % 被験者分だけ繰り返す.

```

```

61     for i=1:row
62
63         % データを開く
64         data1 = file_open(char(f1(i)), electrode);
65         data2 = file_open(char(f2(i)), electrode);
66
67         [xrow xcol] = size(data1) ;
68         n_ave = xrow / epoch;    % 加算平均回数
69
70         rep = (n_ave - frame) / fshift; % 繰り返し回数
71
72
73         % トライアルをずらしながら被験者全員分の平均値の差を求める.
74         for j=0:rep
75
76             curr_row = j*sft_n;
77
78             ddata1 = data1( curr_row+1 : curr_row+frm_n, : );
79             ddata2 = data2( curr_row+1 : curr_row+frm_n, : );
80
81             [M1 V1 n1] = meanvar(ddata1, epoch, base);
82             [M2 V2 n2] = meanvar(ddata2, epoch, base);
83
84
85             % 平均値の差を求める.
86             DM = M1 - M2;
87
88
89             if j==0
90                 DDM = DM;
91             else
92                 DDM = [DDM DM]; % 平均値の差
93
94             end
95
96         end
97
98
99         if i==1
100             DDDM = DDM;
101         else
102             DDDM = [DDDM; DDM]; % 被験者全員分の平均値の差
103         end
104
105     end
106
107
108     % 差の 平均 と 分散 をそれぞれ求める.(基線補正は行わない.)
109     [Md Vd nd] = meanvar_only(DDDM, epoch);
110     [drow dcol] = size(Md);
111
112     df = nd - 1 ; % 自由度
113
114
115     % 上の結果を用いて、トライアル毎に全電極の t 値を求める.
116     for i=1:dcol
117
118         T_arr = Md(:,i) ./ sqrt( Vd(:,i)/nd ) ; % t 値の計算
119         P_arr = betainc( df ./ (df + T_arr .* T_arr), df/2, 0.5) ; % 有意確率
120
121         % 配列の連結
122         if i==1
123             T = T_arr;
124             P = P_arr;
125         else
126             T = [T T_arr]; % t 値

```

```

127         P = [P P_arr]; % p 値
128     end
129 end
130
131 % トライアル毎に t 値を描画する.
132 for j=0:rep
133     curr_col = j*electrode;
134
135     TT = T( : ,curr_col+1 : curr_col+electrode );
136
137     subplot(3,4,1) ; % F7
138     format_trial_paired_ttest(TT(:,1), df, rep, j);
139
140     subplot(3,4,2) ; % F3
141     format_trial_paired_ttest(TT(:,2), df, rep, j);
142
143     subplot(3,4,6) ; % C3
144     format_trial_paired_ttest(TT(:,3), df, rep, j);
145
146     subplot(3,4,10); % P3
147     format_trial_paired_ttest(TT(:,4), df, rep, j);
148
149     subplot(3,4,4) ; % F8
150     format_trial_paired_ttest(TT(:,5), df, rep, j);
151
152     subplot(3,4,3) ; % F4
153     format_trial_paired_ttest(TT(:,6), df, rep, j);
154
155     subplot(3,4,7) ; % C4
156     format_trial_paired_ttest(TT(:,7), df, rep, j);
157
158     subplot(3,4,11); % P4
159     format_trial_paired_ttest(TT(:,8), df, rep, j);
160
161 end
162
163 title( ['\it{自由度 = }' num2str(df) ...
164         '\it{, 繰り返し = }' num2str(rep+1) ...
165         '\it{, フレーム試行 = }' num2str(frame) ...
166         '\it{, 移動試行 = }' num2str(fshift) ], 'FontSize',5);
167
168 %-----
169 % グラフの保存
170 %-----
171
172 str = char(fpath(h));
173 pat = '.txt';
174 sname = regexprep(str, pat, ''); % 正規表現を用いて、文字列を削る.
175
176 savename=[savepath sname];
177 eval( ['print -depsc2 ',savename] ); % EPS2 COLOR 形式で保存
178 close(h);
179 end

```

format_trial_paired_ttest.m

plot_trial_paired_ttest.m の描画フォーマットを決めるプログラム.


```

1 function format_trial_paired_ttest(t,df,rep,mov)
2 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
3 %
4 % [Input] ; t は配列であること。
5 % t : t 値
6 % df : 自由度
7 % rep : 繰り返し数
8 % mov : 移動値
9 %
10 %
11 % 参考:NIST「(米国) 標準技術局」より t 分布の数表を得た.
12 % http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda3672.htm
13 %
14 %
15 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
16 %
17 if df > 100, df = 100; end
18 %
19 % t 分布の 有意水準; 自由度 1..100
20 %-----
21 % p=0.01(両側検定)
22 %-----
23 p_01 = [ 63.657 9.925 5.841 4.604 4.032 3.707 3.499 3.355 3.250 3.169 ... % df. 1- 10
24         3.106 3.055 3.012 2.977 2.947 2.921 2.898 2.878 2.861 2.845 ... % df. 11- 20
25         2.831 2.819 2.807 2.797 2.787 2.779 2.771 2.763 2.756 2.750 ... % df. 21- 30
26         2.744 2.738 2.733 2.728 2.724 2.719 2.715 2.712 2.708 2.704 ... % df. 31- 40
27         2.701 2.698 2.695 2.692 2.690 2.687 2.685 2.682 2.680 2.678 ... % df. 41- 50
28         2.676 2.674 2.672 2.670 2.668 2.667 2.665 2.663 2.662 2.660 ... % df. 51- 60
29         2.659 2.657 2.656 2.655 2.654 2.652 2.651 2.650 2.649 2.648 ... % df. 61- 70
30         2.647 2.646 2.645 2.644 2.643 2.642 2.641 2.640 2.640 2.639 ... % df. 71- 80
31         2.638 2.637 2.636 2.636 2.635 2.634 2.634 2.633 2.632 2.632 ... % df. 81- 90
32         2.631 2.630 2.630 2.629 2.629 2.628 2.627 2.627 2.626 2.626 ]; % df. 91-100
33 p_01inf = 2.576 ; % df. ∞
34 %
35 %-----
36 % p=0.05(両側検定)
37 %-----
38 p_05 = [ 12.706 4.303 3.182 2.776 2.571 2.447 2.365 2.306 2.262 2.228 ... % df. 1- 10
39         2.201 2.179 2.160 2.145 2.131 2.120 2.110 2.101 2.093 2.086 ... % df. 11- 20
40         2.080 2.074 2.069 2.064 2.060 2.056 2.052 2.048 2.045 2.042 ... % df. 21- 30
41         2.040 2.037 2.035 2.032 2.030 2.028 2.026 2.024 2.023 2.021 ... % df. 31- 40
42         2.020 2.018 2.017 2.015 2.014 2.013 2.012 2.011 2.010 2.009 ... % df. 41- 50
43         2.008 2.007 2.006 2.005 2.004 2.003 2.002 2.002 2.001 2.000 ... % df. 51- 60
44         2.000 1.999 1.998 1.998 1.997 1.997 1.996 1.995 1.995 1.994 ... % df. 61- 70
45         1.994 1.993 1.993 1.993 1.992 1.992 1.991 1.991 1.990 1.990 ... % df. 71- 80
46         1.990 1.989 1.989 1.989 1.988 1.988 1.988 1.987 1.987 1.987 ... % df. 81- 90
47         1.986 1.986 1.986 1.986 1.985 1.985 1.985 1.984 1.984 1.984 ]; % df. 91-100
48 p_05inf = 1.960; % df. ∞
49 %
50 %-----
51 % デフォルト設定
52 %-----
53 %
54 % 自由度 df の t 分布の棄却水準
55 %rej = repmat(p_01(df), 1, 1200); % p=0.01(両側検定)
56 %rej = repmat(p_05(df), 1, 1200); % p=0.05(両側検定)
57 alpha = 0.05;
58 %
59 % 目盛りの定義
60 % xt = [-200 0 200 400 600 800 1000]; % x 軸 (時間)
61 %
62 % 軸の外観の定義
63 % hlaxis = [-200 1000 0 Inf]; % y 軸 (t 値)
64 %
65 % 文字サイズの変更

```

```

66 set(0,'defaultuicontrolfontsize',4);
67 set(0,'defaultaxesfontsize',4);
68 set(0,'defaulttextfontsize',4);
69
70 % 色の定義 [r g b]
71 coln = [0 .3 1]; % Negative(青色)
72 colp = [1 .85 0]; % Positive(黄色)
73
74 % 軸の作成
75 x = linspace(-199, 1000, 1200); % ノーマル
76 %-----
77
78 vshift = 5;
79 vtop = (rep+1) * vshift;
80
81 vsm = vshift * mov;
82 vsmline = repmat(-vsm, 1, 1200); % 下半分塗りつぶし基準
83
84
85 % 正(陽性成分)の t-value を絶対値で表示する.
86 tp = vtop + t - vsm;
87 area(x, tp, 'LineWidth', 0.1 , ...
88       'FaceColor', 'r' , ...
89       'EdgeColor', 'r' );
90
91 axis(gca, haxis);
92
93 set(gca, 'TickDir' , 'out' , ...
94       'PlotBoxAspectRatio',[2 3 1] , ...
95       'xtick' , xt );
96 % ylabel('t-value');
97
98 hold on;
99
100 % 有意水準を超える値を有意水準に丸め込む
101 t_ns = t;
102 t_ns(t < -p_05(df)) = -p_05(df);
103 t_ns(t > p_05(df)) = p_05(df);
104
105 tp_ns = vtop + t_ns - vsm;
106 area(x, tp_ns, 'LineWidth', 0.1 , ...
107       'FaceColor', colp , ...
108       'EdgeColor', colp);
109
110 % 上下を反転し、負(陰性成分)の t-value を絶対値で表示する.
111 tn = vtop - t - vsm;
112 area(x, tn, 'LineWidth', 0.1 , ...
113       'FaceColor', 'r' , ...
114       'EdgeColor', 'r' );
115
116 tn_ns = vtop - t_ns - vsm;
117 area(x, tn_ns, 'LineWidth', 0.1 , ...
118       'FaceColor', coln , ...
119       'EdgeColor', coln);
120
121 % 下半分を塗りつぶす
122 area(x, vtop + vsmline, 'LineWidth', 0.1 , ...
123       'FaceColor', 'w' , ...
124       'EdgeColor', 'w' );
125
126 rej = vtop + rej - vsm;
127
128 % 棄却域を表示しない場合は、消すこと。
129 % plot(x, rej, 'Color', 'g', 'LineWidth', 0.1); % 棄却域
130
131

```

```

132     if rep == mov,
133
134         % 0 基準線
135         zerov = [0 (vshift+vtop)]; % (垂直方向: 時間)
136         xv     = [0 1];           % 水平方向の軸
137
138         plot(xv, zerov, 'Color', 'k', 'LineWidth', 0.3); % 0 基準線 (垂直)
139
140         xlabel(['p<' num2str(alpha) ' における t=' num2str(p_05(df))]);
141
142     end
143
144     % グラフの重ねあわせで隠れた軸を表示する.
145     set( gca, 'Layer', 'Top');

```