

令和 6 年 6 月 27 日現在

機関番号：32635

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2023

課題番号：18K11406

研究課題名(和文) 普段着に溶け込むイヤホン型脳波電極の開発：日常脳波の広範な活用に向けて

研究課題名(英文) Toward application of EEG with earphone-type electrodes fitting in with everyday life

研究代表者

荒生 弘史 (Arao, Hiroshi)

大正大学・心理社会学部・教授

研究者番号：10334640

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、外耳道での脳波記録について検討した。外耳道脳波記録が可能であれば、様々な場面で応用が可能である。さまざまなタイプの外耳道電極を作製し、通常の基準電極および頭部外基準電極を用いた脳波記録を実施した。正中線上で最大振幅となる脳波・事象関連電位は概して正中線の主要部位よりも外耳道およびそれに隣接する側頭部位で振幅が小さかったが、外耳道でもそのような活動を記録できる可能性がある。一方、外耳道とその隣接部位であっても、側頭部でより優位となる特定の成分については明瞭に記録される。また、このような側頭部での活動を記録するためには、平衡型頭部外基準電極がより適していることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

当研究課題は2018年度に開始したが、外耳道での脳波計測については報告例が少なく、そもそも計測が可能であるのか、可能であるとすればどのような対象が適しているのかが明確ではなかった。本研究は、聴覚事象関連電位の特定成分について明確な記録例を報告したほか、他の事例についてもさまざまな対象および技法による測定実績を重ねたものである。ワイヤレスイヤホンが普及している現在、日常のデバイスに脳波計測の機能が加われば、脳波の応用可能性が一段と広がり得ることが考えられる。2023年にはApple社が関与した関連の特許申請がみられるなど、当領域に対する社会的な関心は少なくないものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：The present study examined EEG recording at the external ear canal. If ear-canal EEG recording is possible, it can be applied in various situations. We manufactured various types of ear-canal electrodes and used them against usual and non-cephalic reference electrodes. Although midline-maximum EEGs/ERPs generally had smaller amplitudes at the ear canal and its adjacent temporal sites than at the major midline sites, there is also some possibility to record such activities at the ear canal. On the contrary, a certain temporal-maximum ERP component can be clearly recorded at the ear canal and the adjacent sites. We also showed that the balanced non-cephalic reference electrode was more suitable to record such temporal activities.

研究分野：実験心理学

キーワード：脳波 イヤホン型電極 外耳道 事象関連電位

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

本研究は、中枢系の生体情報として高い潜在力を持つ脳波を、日常での着用に違和感のないイヤホン型電極により計測する技術を開発するものである。2017年の申請書提出および研究期間の当初段階では、このようなアプローチは他に見かけることはまれであったが、最近では、2023年度の Apple 社が関与した米国での特許申請事例をはじめ (Azemi et al., 2013)、外耳道や耳近傍での脳波計測は、基礎研究から産業応用を企図したもので幅が広がりつつある。

### 2. 研究の目的

脳波計測はそもそもノイズの影響を非常に受けやすい。前例のない部位での計測となれば、ややもすればアーチファクト主体の計測となってしまうことに十分に注意する必要がある。本研究の目的は、外耳道で脳波を計測できるのか、できるとしたらどのようなものが計測対象として有望であるのかについて、着実な検証をおこなうことである。基礎研究および、産業・臨床応用に向けた基礎的知見の構築を目指す。

### 3. 研究の方法

脳波計測における代表的な指標といえるアルファ波等の基礎律動および P3 等の事象関連電位を計測対象とし、確実に計測ができる部位との比較を主体として研究を進めた。外耳道や側頭部における電位計測においては頭部外の基準電極である平衡型頭部外基準電極を用い、耳朵や鼻尖、マストイドなどの一般的な基準電極位置における電位計測、再基準化の効果もあわせて検証した。たとえば、耳朵を基準にした場合、外耳道はごく近傍となるため、両者間の電位差はごく小さなものになることが予想される。一方、平衡型頭部外基準電極は、首の下の前後の電極を基準電極として利用するものであり、そこからの電位変動を頭皮上および耳朵や外耳道で計測することが可能となる。

外耳道に設置する電極としては、通常の皿電極では対応できない。さまざまタイプの電極の試作と検証を繰り返し検証してきたが、その範囲では最も安定した計測を実現したのが、研究協力者が開発し特許を取得したパラソル型の電極である。以下の報告ではこのタイプの電極を用いたものについて述べる。

### 4. 研究成果

(1) 研究期間を通じてもっとも参加者間での差異が小さく安定して高振幅の記録が外耳道で可能であったものは、エラーフィードバック音に対する聴覚事象関連電位であった。この電位については、以前より研究代表者らの研究により側頭部でも高振幅の記録が可能であることが確かめられていたものである。多くの事象関連電位計測パラダイムとは異なり、参加者には言語課題をおこなってもらい、それが誤答であった場合にのみ、ブザーに相当する音 (264Hz 矩形波) を呈示する。この音に対する事象関連電位を計測するものである (図 1)。

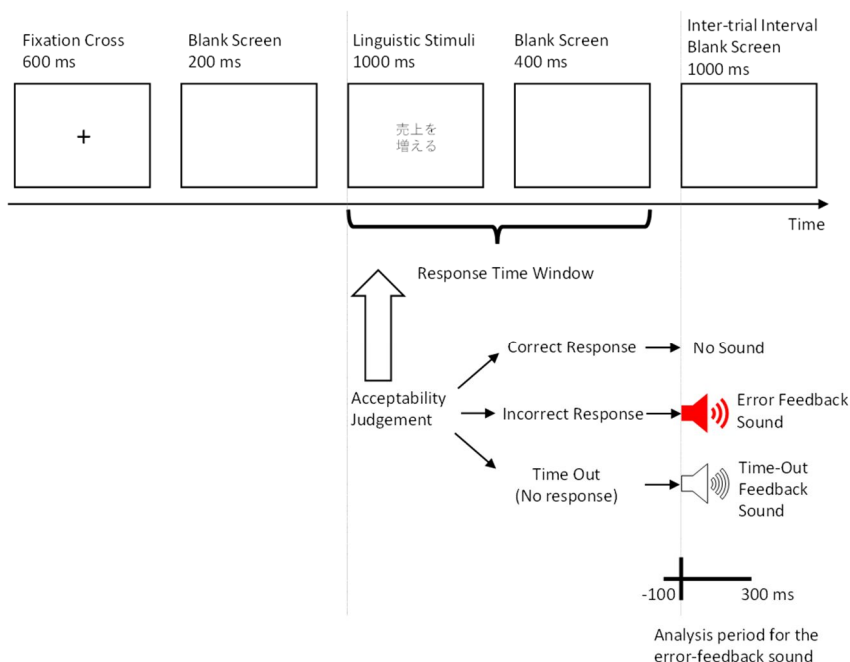


図 1 エラーフィードバック音に対する聴覚事象関連電位を計測する実験パラダイム

参加者に統語判断課題をおこなってもらい、誤答であった場合、エラーフィードバック音を提示する。

事象関連電位の解析区間は、エラーフィードバック音の呈示時点を基準にした-100~300msである。

頭皮上や外耳道も含めて全電極位置におけるエラーフィードバック音に対する事象関連電位は図2のようになった(N=8)。正中線上でもっとも大きな陰性電位(N1)が生じており、それに近い潜時帯において側頭部でもベースラインと比較すると顕著な陰性電位が生じている。注目すべき点は、左右の外耳道においても明確な陰性電位が生じている点である。

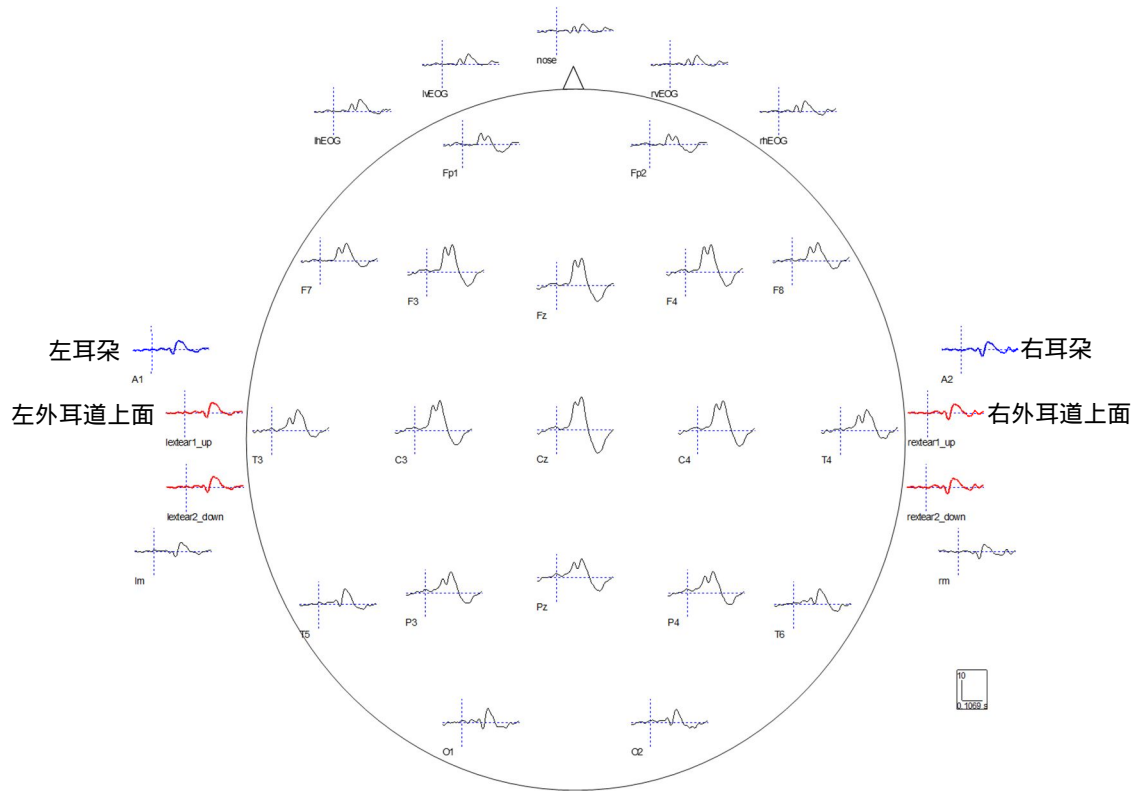


図2 エラーフィードバック音に対する事象関連電位(全電極、N=8)

外耳道における陰性電位の振る舞いは、耳朶における陰性電位の振る舞いと非常によく似ていることもわかる。外耳道と耳朶における事象関連電位を抜き出したのが図3である。刺激呈示前の区間(-100~0ms)のベースラインは、後の顕著な事象関連電位変動にくらべて十分にフラットであり、良好なシグナルノイズ比を保っている。左右両方において、外耳道と耳朶の類似性は高い一方で、潜時150ms付近のもっとも顕著な陰性電位については、左右ともに外耳道においてより陰性方向に高振幅となっていることが確認できる。この差異については統計学的な有意差が確認された。この顕著な陰性電位は、Woods(1995)のN1区分におけるN1cに相当するものと考えられた。以上のように、外耳道でも極めて顕著な事象関連電位の計測が可能である事例を示すことができた。

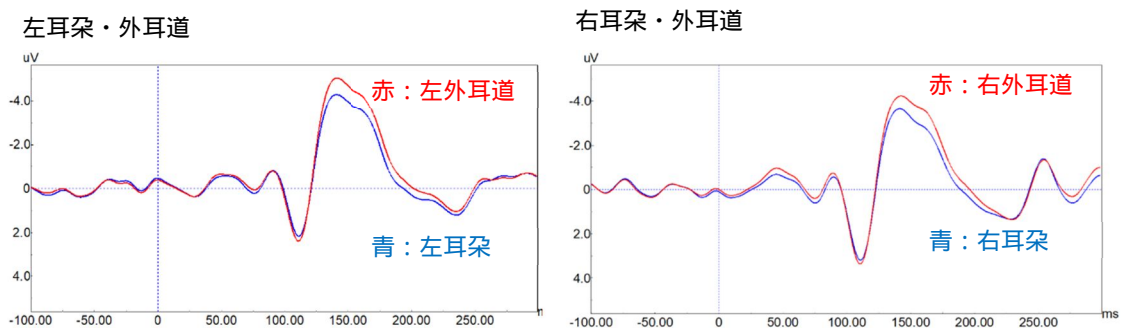


図3 エラーフィードバック音に対する事象関連電位(左右の耳朶および外耳道、N=8)

(2) 他の基礎律動や事象関連電位については、計測できる可能性が示されたものの、参加者間の変動も大きいことも示された。上記のN1cはもともと側頭部優位であるとされているのに対し、他の基礎律動や事象関連電位の多くは正中線上でもっとも優位となることが知られており、側頭部および外耳道・耳朶での計測は概して不利である。信号処理のうえでの工夫等によりこの面での不利を乗り越える方法の検討なども今後の課題となるであろう。

他に本研究の副産物としては、頭部外基準電極を用いると、現行の慣習において基準電極とされることが多い耳朵や鼻尖はしばしば顕著な電位変化を示すことを繰り返し実証した点があげられる。上の図2および図3もその一例である。同様の他の事例として、パターンによるミスマッチ陰性電位を計測した事例を図4に示す。ノイズ音による「強-弱」の標準刺激パターンが繰り返されるなかで時折「強-強」や「強-中」の逸脱刺激パターンが生じるものであり、参加者は視覚課題に集中し、これらの音は無視するパラダイムである。各パターンの1音目はいずれにおいても一貫して「強」刺激であるため、2音目に対する反応の違いが検証対象となる。解析区間の後半となる2音目に対する反応に着目すると、とくに「強-強」の逸脱刺激の2音目の「強」に対して顕著な陰性電位が生じており、それが鼻尖に顕著に波及していることがわかる。耳朵においても刺激音に応じた反応が生じているように見受けられる。

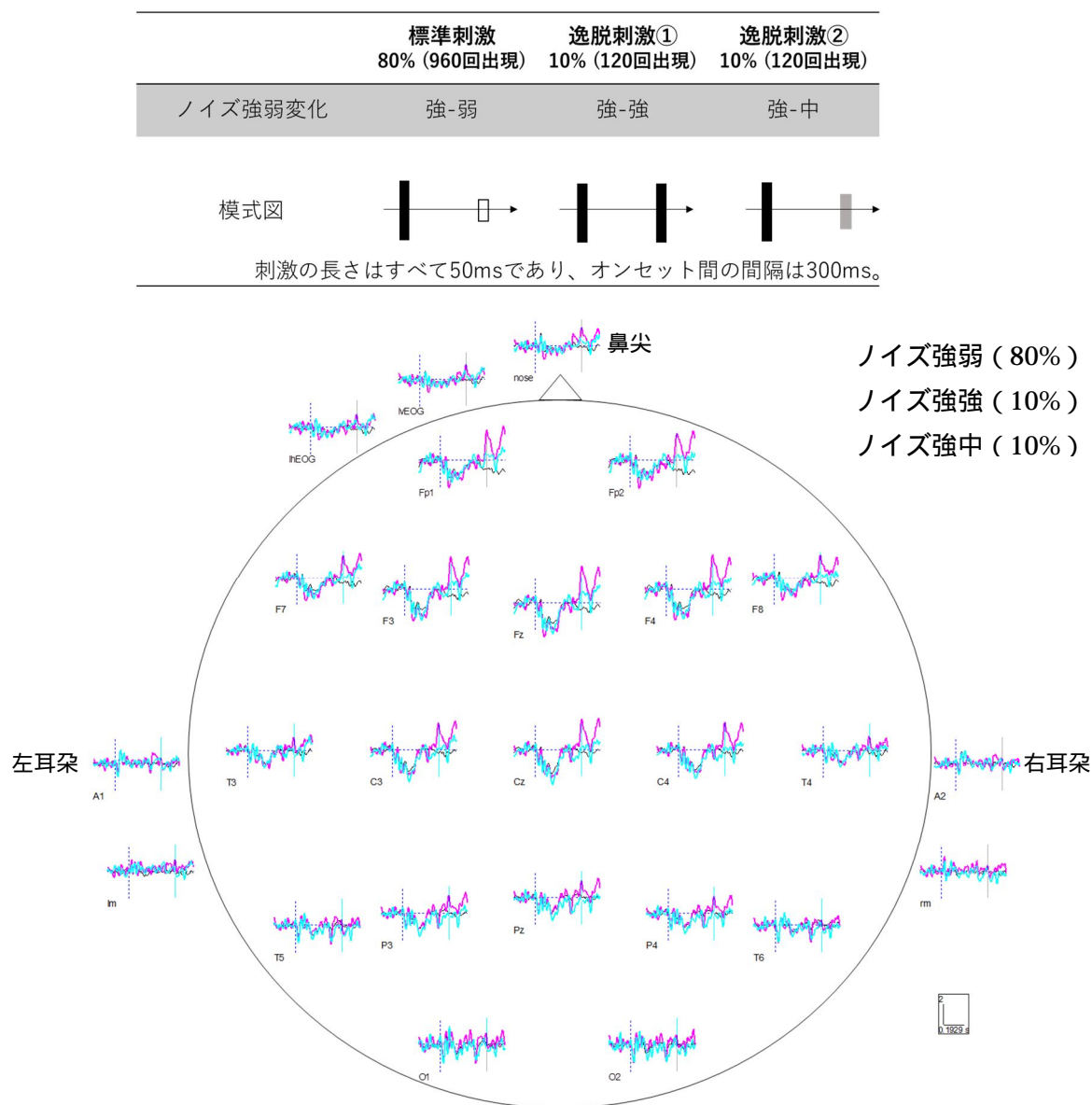


図4 パターンによるミスマッチ陰性電位の耳朵や鼻尖への波及 (N = 12)

< 引用文献 >

Azemi, E., Moin, A., Pragada, A., Lu, J. H. C., Powell, V. M., Minxha, J., & Hotelling, S. P. (2023). Biosignal sensing device using dynamic selection of electrodes. United States Patent Application, 18(94), 841.

Woods, D. L. (1995). The component structure of the N1 wave of the human auditory evoked potential. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. Supplement*, 44, 102–109. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7649012>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Suwazono Shugo, Arao Hiroshi	4. 巻 6
2. 論文標題 A newly developed free software tool set for averaging electroencephalogram implemented in the Perl programming language	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Heliyon	6. 最初と最後の頁 e05580 ~ e05580
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.heliyon.2020.e05580	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Arao Hiroshi, Suwazono Shugo, Kimura Akio, Asano Hirotooshi, Suzuki Hiroaki	4. 巻 58
2. 論文標題 Measuring auditory event related potentials at the external ear canal: A demonstrative study using a new electrode and error feedback paradigm	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 European Journal of Neuroscience	6. 最初と最後の頁 4310 ~ 4327
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/ejn.16175	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 渡部夏海・荒生弘史・諏訪園秀吾・木村晶朗・浅野 裕俊
2. 発表標題 BNE法を用いた耳部脳波の特性評価
3. 学会等名 電気学会計測知覚情報合同研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡部夏海・荒生弘史・諏訪園秀吾・木村晶朗・浅野 裕俊
2. 発表標題 BNE法を用いた耳部脳波の特性評価
3. 学会等名 電気学会計測知覚情報合同研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 荒生弘史・諏訪園秀吾・木村晶朗・浅野裕俊・鈴木宏昌
2. 発表標題 2語同時呈示に対する事象関連電位 正文・非文によるN1効果とP2の外耳道への波及に着目して
3. 学会等名 坂本勉記念神経科学研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 荒生弘史・諏訪園秀吾・木村晶朗・浅野裕俊・鈴木宏昌
2. 発表標題 外耳道電極による聴覚N1の記録 伝統的解析と階層ベイズモデリングを用いた検討
3. 学会等名 坂本勉記念神経科学研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高嶋真輝・諏訪園秀吾・荒生弘史・木村晶朗・浅野裕俊
2. 発表標題 相関分析に基づく外耳道脳波の評価
3. 学会等名 電気学会研究会（計測 知覚情報合同研究会・生体計測及び一般）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 諏訪園秀吾・荒生弘史
2. 発表標題 聴覚ミスマッチ反応と基準電極の効果 沖縄病院での検討
3. 学会等名 坂本勉記念神経科学研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 荒生弘史・諏訪園秀吾・鈴木宏昌・島田浩太・二木大地・中西淑乃
2. 発表標題 聴覚ミスマッチ反応と基準電極の効果 大正大学での検討
3. 学会等名 坂本勉記念神経科学研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 諏訪園秀吾・荒生弘史・島田浩太・鈴木宏昌・二木大地
2. 発表標題 平衡型頭部外基準電極を用いたミスマッチ陰性電位記録の検討
3. 学会等名 第49 回日本臨床神経生理学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 諏訪園秀吾
2. 発表標題 神経難病在宅モニタリングにおけるデータサイエンスへの期待：ALS・筋ジストロフィー・パーキンソンにおいて脳波をどう用いていくか
3. 学会等名 第3回「D2Kサイエンティスト養成研究集会」「脳計測の進歩と疾患への対処」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 荒生弘史
2. 発表標題 誤答フィードバック音に対する顕著な電位反応と外耳道電極の可能性
3. 学会等名 第1回 心理神経科学研究会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	浅野 裕俊  (Asano Hirotoshi)  (70453488)	香川大学・創造工学部・准教授   (16201)	
研究 分担者	諏訪園 秀吾  (Suwazono Shugo)  (50345518)	独立行政法人国立病院機構沖縄病院(臨床研究部)・神経内 科・脳・神経・筋疾患研究センター長   (88004)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協力者	木村 晶朗  (Kimura Akio)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------