



脳波による聴覚定常反応を 用いた同時通訳中の認知負荷の検証

Detecting Cognitive Load during Simultaneous Interpretation using
EEG Phase Synchronization

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

矢倉 晴子 田中 宏季 木下 泰輝 渡部 宏樹
本村 駿乃介 須藤 克仁 中村 哲

同時通訳とは



同時通訳

- 話者の発話に合わせて行う
- 長時間通じ続く国際会議など
- 2-3名で15分交代で行う



逐次通訳

- 話者と通訳者が交互に話す
- 工場視察や表敬訪問など
- 正確にゆっくり訳す

同時通訳と認知負荷について

マルチタスクは認知負荷が高い[Daniel+, 2011]

複数の作業

短期間・同時・連続的に行う

同時通訳は極端なマルチタスク[Camayd+, 2011]

記憶・通訳・発話・聞き取り

話者の発話スピードに常に合わせる

同時通訳者がどうやって認知負荷を克服しているか

注多くの心理モデル

作動記憶や注意との関係

同時通訳者の脳内メカニズムに注目

➤ Extreme multitasking;
speaking, listening,
memory, translation

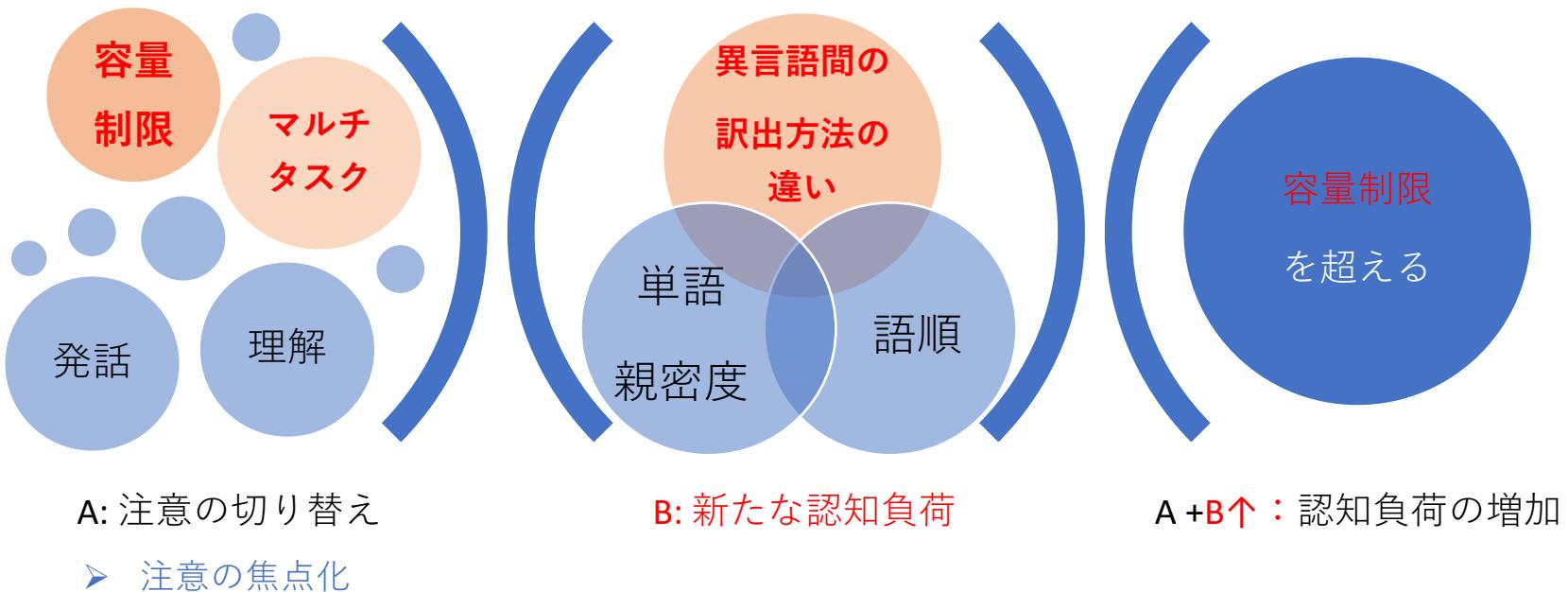
Cognitive load

simultaneous interpreter

先行研究

- 同時通訳中に生じる認知負荷
- 同時通訳の脳内メカニズムの研究

同時通訳中に認知負荷が生じる原因



[Cowan, 2005] [Mizuno, 2015]

同時通訳中の認知負荷に関する脳内メカニズム

- 同時通訳者の経験年数やバイリンガルとの比較
- 同時通訳条件とシャドーイング条件、トレーニング後と前の比較など
- 単語や短文の通訳

■fMRI:脳の活動部位を検出

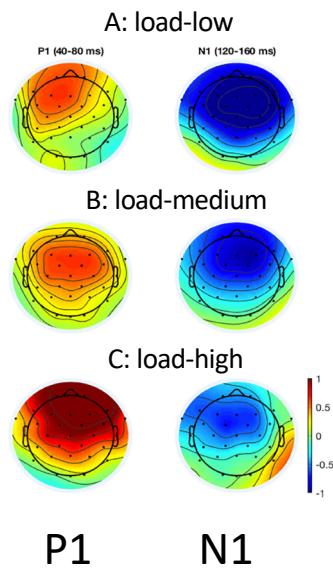
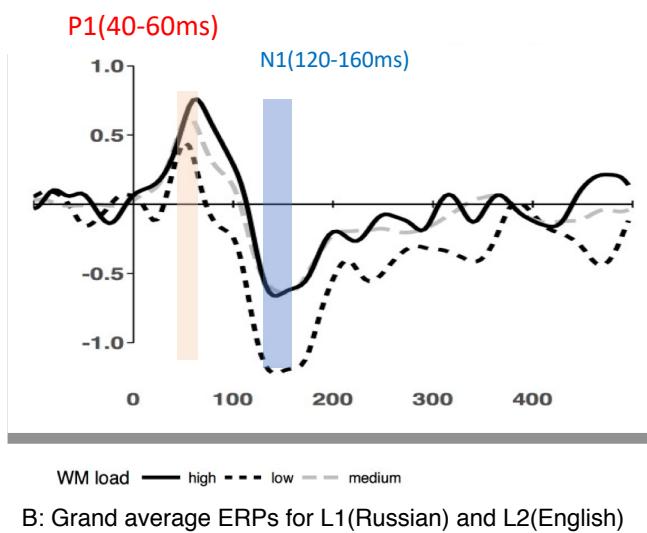
作動記憶に関連する左前頭前野の関与
[Elmer+, 2014][Babcock+, 2015]
[Van+, 2018]

多言語処理（バイリンガル）に関する
尾状核の関与[Hervais+, 2014]
→様々な部位が連携、注意・時系列関係が不明
→短文や単語を刺激に用いる、同時通訳中の
実験ではない

■EEG: 反応時間 (ERP)と周波数 (Hz)

左側頭葉とブローカ野間の θ 波(4-7Hz)
が同期[Elmer+, 2016]
安息時に背外側前頭前皮質で α 波が出現
[Klein+, 2019]
実際に同時通訳をしている時の認知負荷
を計測[Koshikin+, 2018]
→fMRIに比べて圧倒的に報告が少ない、実験
環境の設定が難しい

同時通訳中の認知負荷を検証[Koshkin+, 2018]



➤ 被験者：ロシア人同時通訳者 9 名

➤ 実験条件：

- 1) 単語親密度（負荷高-親密度低）
- 2) 通訳方向：L1：ロシア語 L2：英語

➤ 訳出音声：

- 國際会議の音声40分（英語、ロシア語）

➤ EEG信号の計測

- 各音声のonsetに同期させた4msの純音から誘発されるEEG信号(ERPs)を加算平均しERP成分を抽出
- 認知負荷が増加すると不要な刺激（純音）に対するfilter-out作用が生じるため、純音の反応が減少 [Pratt+, 2011] [Sabli+, 2014]

➤ 結果

- 1) N1とP1の振幅に有意差あり
- 2) 通訳方向では有意差なし

実験条件の統制：通訳音声の編集

▶ 未編集の音声（日→英）



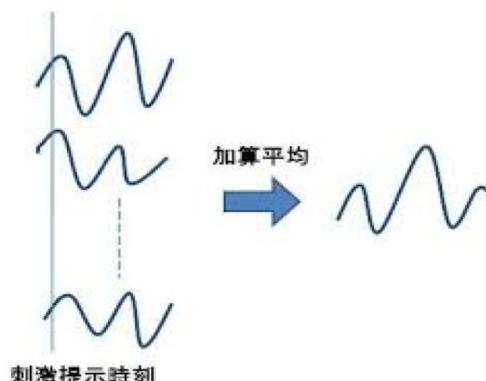
50歳近く年下の20代の女性との婚約を明らかにしたイタリアのベルルスコニ前首相76歳が

- ▶ 現在の通訳が終わらないうちに次の音声が開始
: 通訳の負荷大

▶ 条件間の比較を容易にするために短く区切って編集した音声



50歳近く	年下の	20代の	女性との	婚約を	明らかにした	イタリアの	ベルルスコニ	前首相
負荷：中	負荷：中	負荷：小	負荷：小	負荷：小	負荷：中	負荷：小	負荷：小	負荷：大



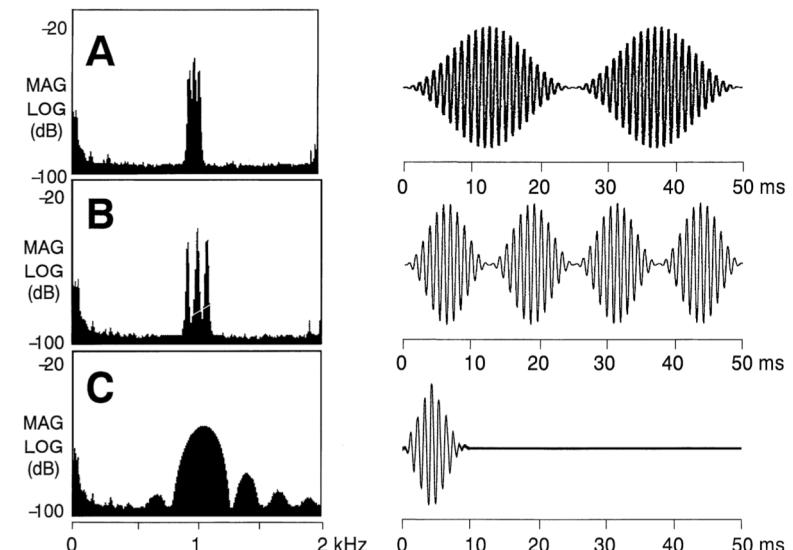
- ▶ 各音声の区切りの最初と同時に50msのトーン信号を呈示
- ▶ トーン信号から誘発されたEEG信号(ERP:N1-刺激定時後100msの反応, P1-刺激定時後50msの反応)を条件毎に加算平均

- ▶ 休止の間に現在処理している通訳が終了
: 通訳の負荷小

聴覚定常反応 (ASSR)

■ASSR: Auditory Steady-State Response

- 非常に刺激間隔の短い（刺激頻度の高い）パルス音（右_左）から得られる誘発脳波
- 各音声波形（右図）が他の反応波形と干渉しあうために、正弦波（サイン波）状の波形が得られる(図：右_右)
- 定常刺激であり非常に安定した誘発脳波が得られる
- 乳幼児、子供など教示を理解するのが困難な患者に対する他覚的検査として医療現場で応用
- 40HzのASSRが人間の心理的状態や認知負荷を反映する[Tiitinen+1993][Griskova+2011][Roth+,2013]



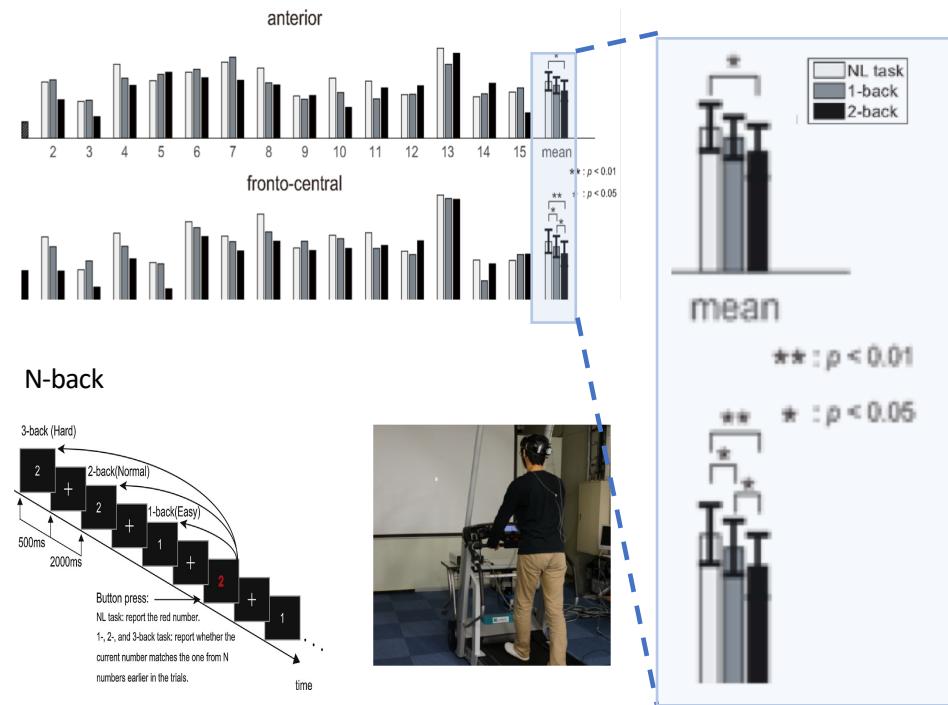
ASSRの刺激音並形（右列）とそのパワースペクトル（左）[青柳, 2006]

A:CF-1000Hz, MF-40Hz SAM音 B:CF-1000Hz, MF-80Hz SAM音 C:1000Hz, tone-pip
(CF:搬送周波数-carrier frequency, MF:変調周波数-modulation frequency)

ASSR誘発時の位相同期 (ITC値：位相同期の程度を表す指標) で歩行中の認知負荷を反映 [Yokota+, 2017]

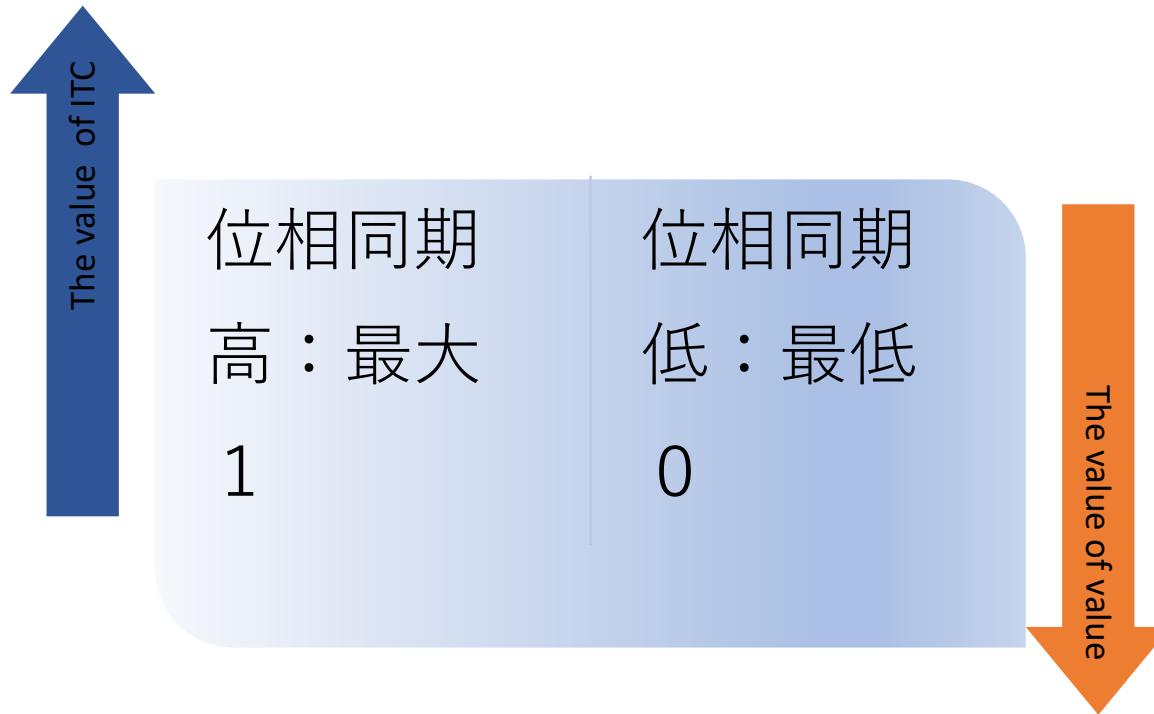
■ 40Hz-ASSRから誘発された位相同期反応の試行間コヒーレンス値 (ITC : Inter-trial coherence)を利用して課題間の認知負荷を比較

- ITC値：位相同期-高-最大1 位相同期-低-最小0
- 課題：歩行中にn-back課題を行う
- 実験条件：n-back課題($n=1$ 負荷小, $n=2$ 負荷大)と同時に40Hz ASSR刺激を両耳に呈示
- 解析：40HzASSRから誘発された位相同期反応を抽出してITC値を計算
- 結果：認知負荷が増加すると位相が乱れITC値の減少を報告 (ITC値: $n=2$ 負荷大 < $n=1$ 負荷小, $p<0.05$)
- 注目：歩行というノイズが大きい環境で認知負荷で認知負荷の検出が可能



[Yokota+, 2015, 2017]

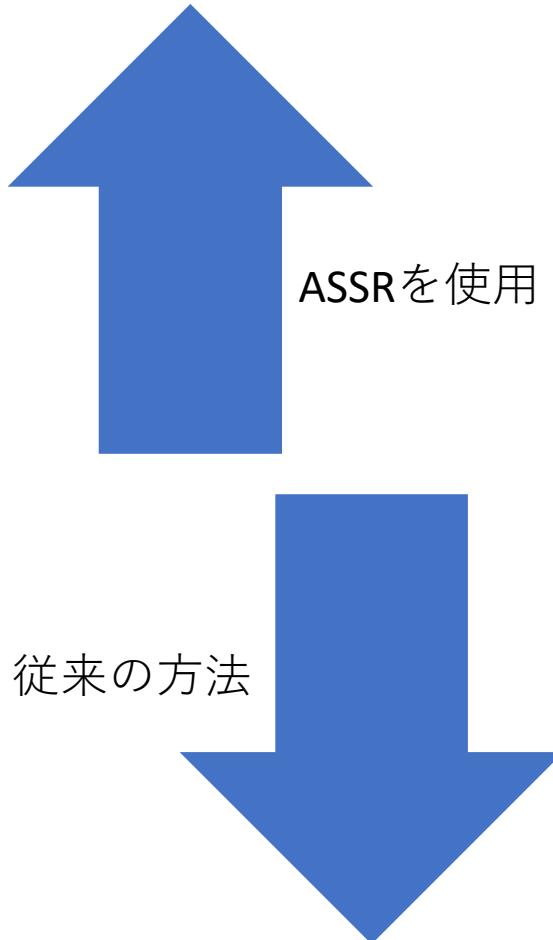
ITC値（脳内の位相同期を表す指標）



提案手法

- 聴覚定常反応（ASSR）を利用する理由
- 提案手法

同時通訳の認知負荷の検証に40Hz-ASSRと ITC値を用いることを提案



実際の通訳場面に近い

- 40Hzより低周波（体動・瞬きなど）の振動の影響を受けにくい
- 同時通訳と同時に表示したASSRの信号を抽出しているため音声の編集が必要ない
- 認知負荷の条件間の統制が難しい

実際の通訳場面から遠い

- 実験条件を統制
- 条件間の統制が容易であり目的とする反応を抽出

提案手法

目的

- 実際に同時通訳中の認知負荷に関する脳内メカニズムを検証

提案手法

- 40Hz-ASSRから誘発されるITC値を使用
- 仮説 ITC値：負荷大 < 負荷小

方法

- 実験の方法
- ASSRの抽出
- 仮説

被験者

■ 10人の日本人女性同時通訳者

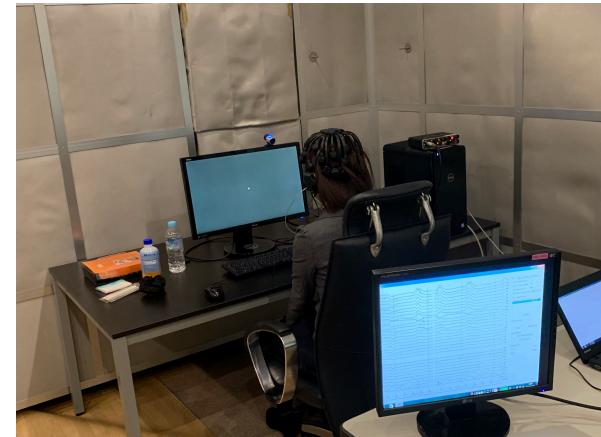
: range; 46-71歳、 mean= 55.1歳、 SD = 2.54

- ・Cランク（同時通訳経験1年未満）：5名
- ・Sランク（同時通訳の経験年数15年以上）：5名

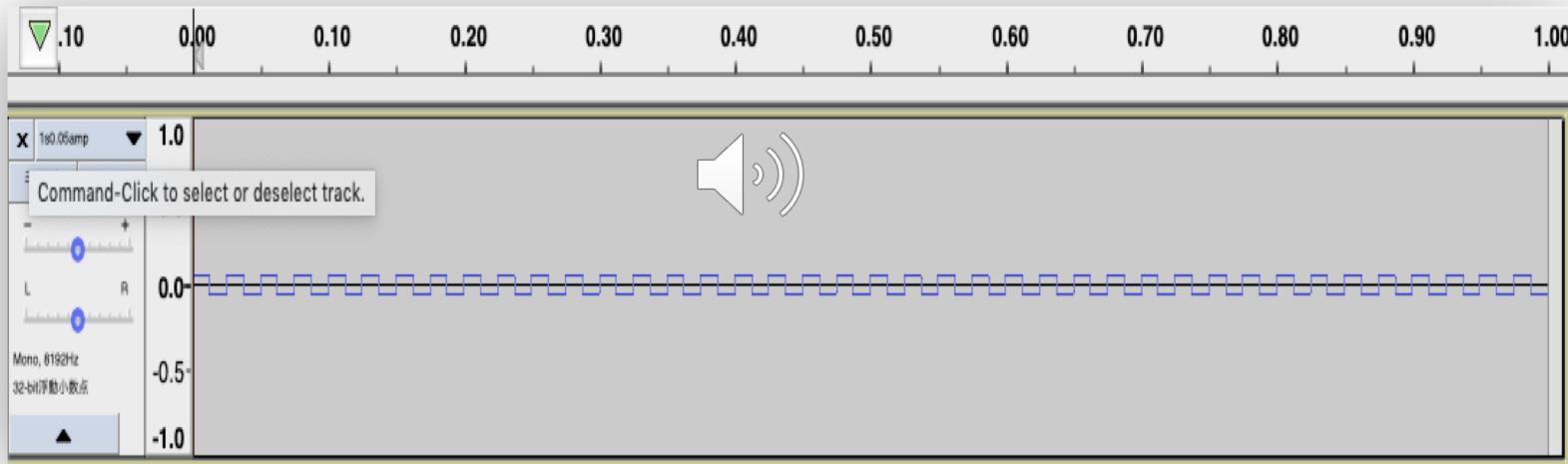
注1：ランク付けは通訳者派遣会社の基準による

注2：全員が逐次訳による翻訳経験は最低3年以上

- 実験前に奈良先端大学の倫理委員会で承認された書面によりインフォームドコンセントを得る



40Hz-ASSR : Auditory steady-state response

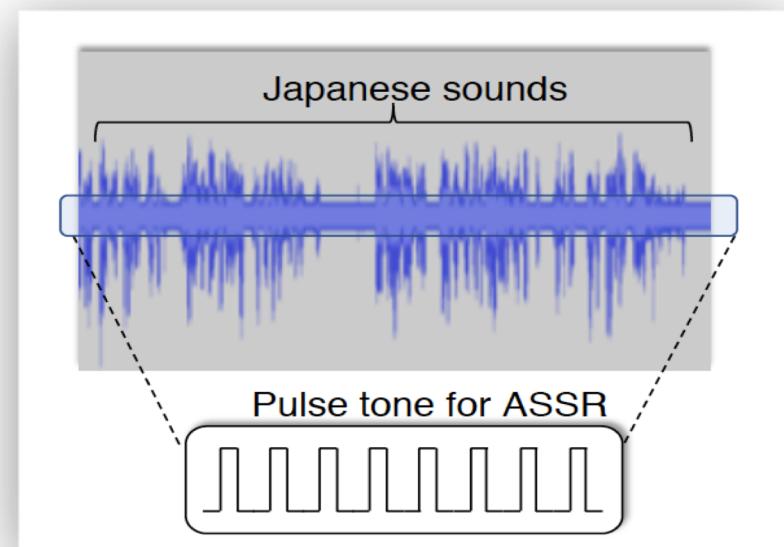


- ✓ The auditory repetitive stimuli were 40Hz click sounds (sampling rate: 8192Hz) which consisted of a pulse width of 10ms that was repeated every 25ms. (Yokota Y, 2017)

音声刺激: 40Hz-ASSRと音声の合成音

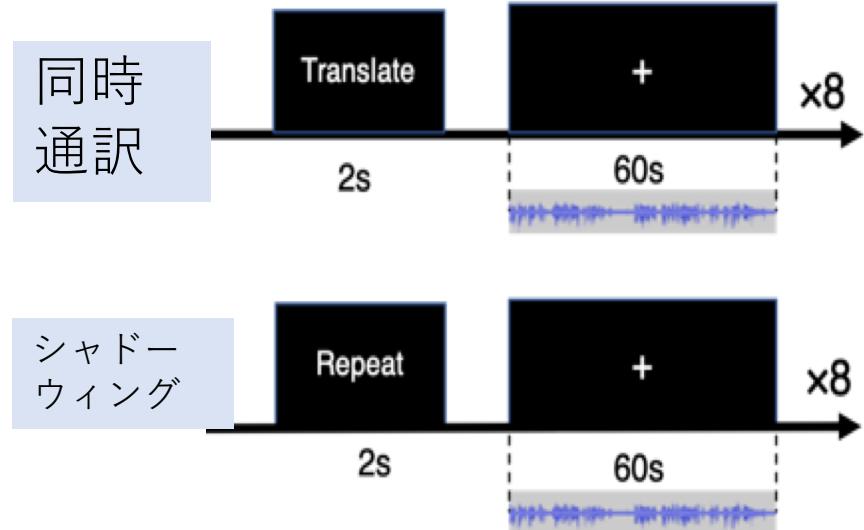
■ 8つのNHK ニュースと ASSR の合成音を両耳に呈示

- 8つの各合成音の持続時間はそれぞれ60秒
- 音圧は最大振幅で正規化
- パルストーンの音圧レベルは、ニュース音の最大振幅の5 %に調整



実験条件

- 負荷高：同時通訳条件（日→英）
- 負荷低：シャドーイング条件（日→日）
 - 語順の違いから日→英の同時通訳は難易度が非常に高い（Mizuno, 2015, Matsubara, 2012）
 - 通訳の難易度を統制するために条件間の表示順序は固定（日英通訳→日本語シャドーウィング）
 - 各条件下で2秒間の教示後60秒の音声8種類がランダムに表示



脳波形(EEG)のセッティング

■同時通訳時に拘束感が少ないワイヤレス接続の脳波形を使用

- EEG devices; CGX Quick-30 Dry EEG Headset
- Preprocessing with low data : sampling rate : 500 bandpass filtered : 1-50Hz ground electrode: FpZ



解析：条件間のITC値を比較

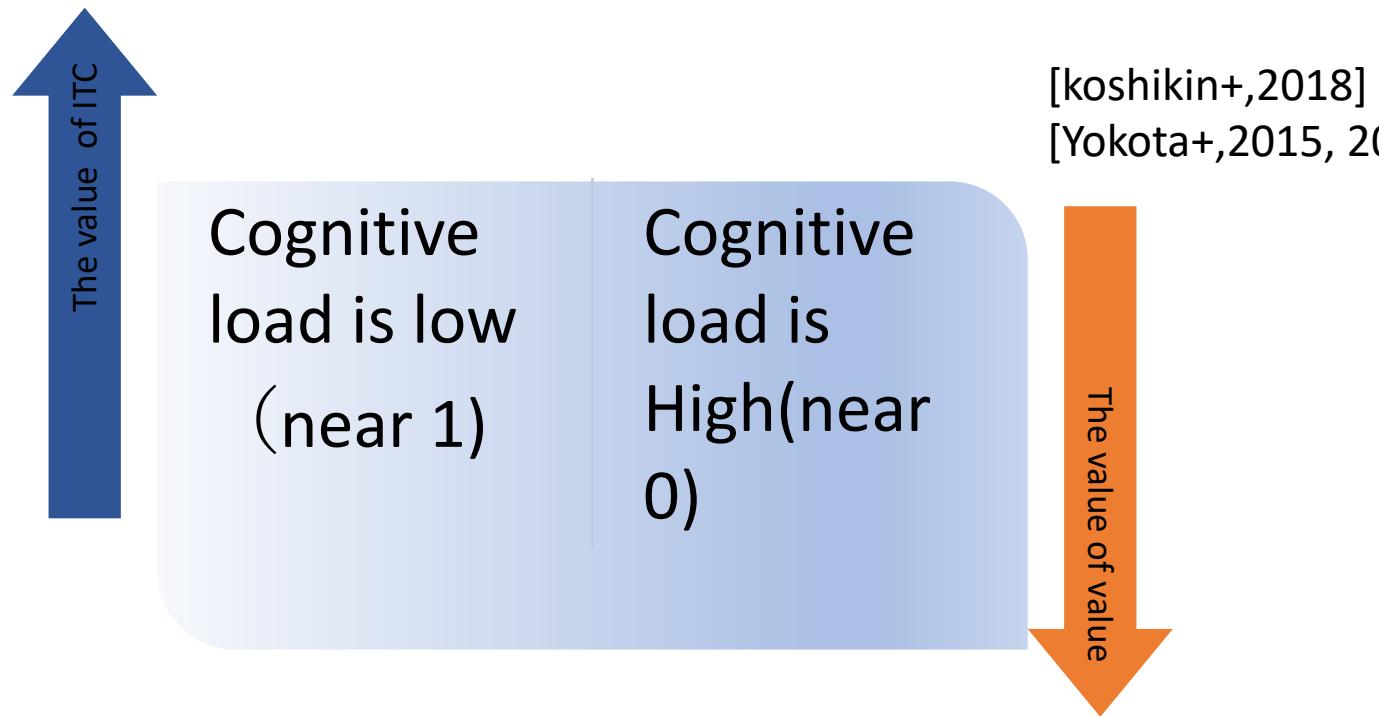
■各条件のITC値を算出し
対応ありのt検定を用いて
条件間の平均値を比較

- 各被験者で、実験の条件とトピック毎に得られた脳波のデータを1秒毎にオーバーラップしながら、3秒のトライアルに分割
- 分割したそれぞれのトライアルに対して離散フーリエ変換を行なった後、右式でITC値を算出
- ITCは3つの中央電極(C₃, C_z, C₄)平均値を計算[Griskova+2011]

$$ITC[ch] = \left| \frac{\sum_{k=1}^K \exp(j\theta_k^f[ch])}{K} \right|$$

- where f is a frequency, ch is the channel number, f
- k is phases of frequency f and electrode ch, k is a trial number, and K is the number of trials. ITCs were calculated for
- each news over the three central electrodes (C₃, C_z, and C₄). ITCs were then averaged over the electrodes

仮説：

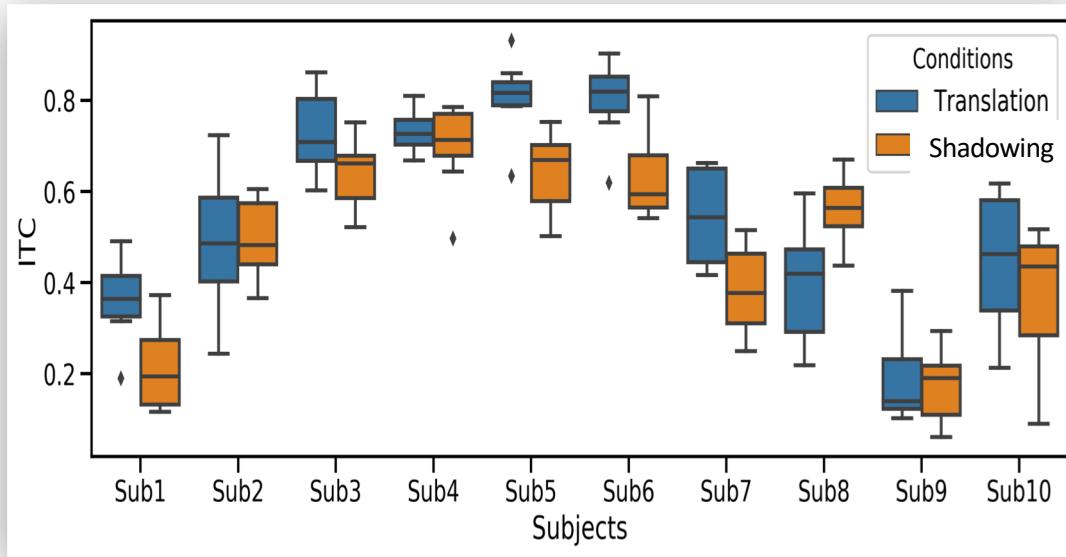


ITC値：シャドーイング（負荷低） > 同時通訳（負荷高）

結果と考察

- 結果と考察
- 今後の課題
- 結論

結果：通訳条件（負荷高）でITC値が増加



■ TR (translation:通訳)
■ SW(Shadowing:
シャドーイング)
 ➤ ITC値：
 TR > SW ($p<0.001$)

- TR; mean = 0.55、sd = 0.22、SW; mean=0.48、sd = 0.20)
- 先行研究 (ITC:負荷大 < 負荷小) とは不一致

選択的注意と認知負荷の関係

- トーンピップ音への選択的注意の増加により、40Hzの振幅が増加 [Tiitinen+, 1993]
- EEGを用いた両耳分離聴実験[Sabri+, 2014]
 - 注意側の耳（聴覚n-back課題 + トーン信号）
 - 無視している耳(task-irrelevant speech sounds : ba, da, gaなどの無意味音素)

→n-back課題の負荷が増加すると聴覚野の反応とN1信号が増

→課題に不必要的刺激に対する注意がフィルターアウトされ、課題への選択的注意が増加することを、聴覚刺激を用いて検証

考察：TR（同時通訳）条件でITC値が増加

- TRは複雑なマルチタスクでありSWよりも認知負荷が高いため、TRへの選択的注意がSWよりも増加した
[Tiitinen+, 1993] [Sabri+, 2014]
- SWでは主に日本語音声への選択的注意に関連するITC値が検出された (ITC値 : ASSR > 日本語音声)
- SWとTRの難易度に差が大きすぎたため、選択的注意と認知負荷に関連した反応は検出することができたが、認知負荷とITC値の反応を完全に分離することができなかった (→選択的注意の影響が認知負荷よりも大きかった)

今後の課題

- 課題間での比較に関しては、注意の影響を考慮し、認知負荷の難易度のみを要因とした同一の条件内で、脳活動との関係を検証する必要がある。
- 条件間の呈示順序を固定したので、繰り返しの影響を確認するために、同一条件内の前半と後半のITC値を比較するなどの調査が必要である。

結論 :

- 本研究では、40Hz-ASSR から誘発されるITC 値を用いて、同時通訳を行っている時の認知負荷を計測し、注意処理に関連する同時通訳中の認知負荷を検証した。
- ITC 値は先行研究とは異なり、TR（負荷高）>SW（負荷低）ではあったが、有意差をもって実際に同時通訳を行なっている時の脳活動を定量化できた。
- 今後は、ITC値と通訳音声の難易度との関係や、通訳者の経験年数との関係などを検証していく。

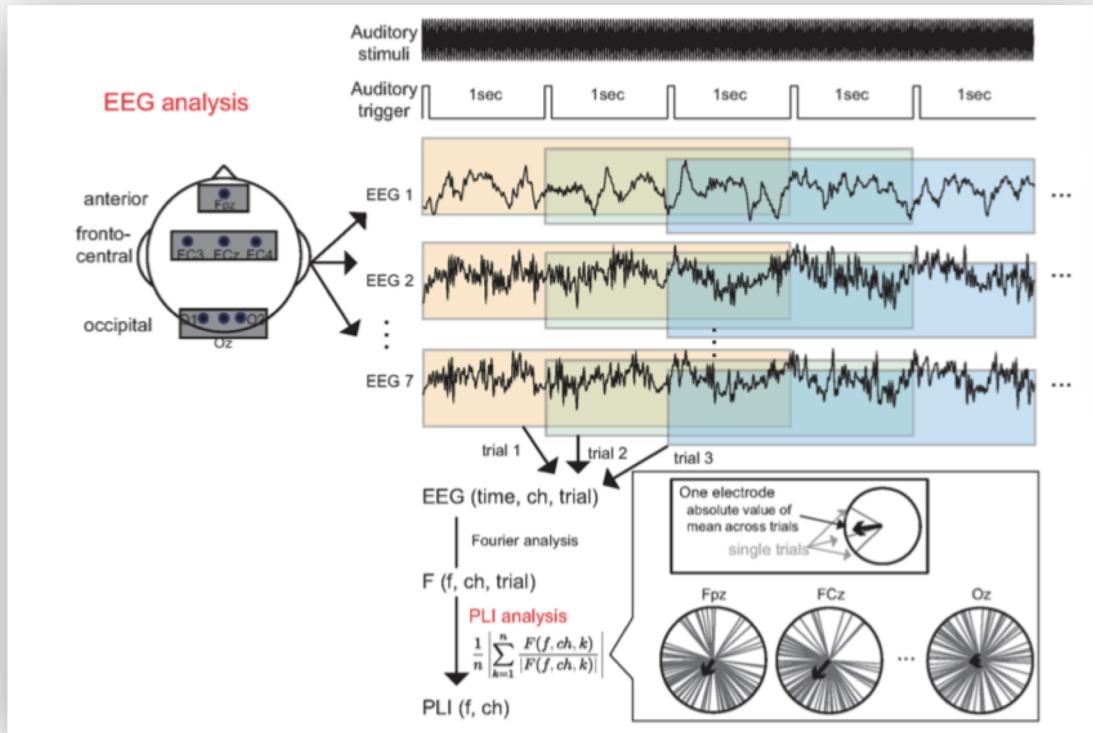
参考文献

- R. Koshkin, Y. Shtyrov, A. Myachykov, and A. Ossadtchi, "Testing the efforts model of simultaneous interpreting: An erp study," PloS one, vol.13, no.10, p.e0206129, 2018.
- Y. Yokota and Y. Naruse, "Phase coherence of auditory steady-state response reflects the amount of cognitive work-load in a modified n-back task," Neuroscience research, vol.100, pp.39–45, 2015.
- Y. Yokota, S. Tanaka, A. Miyamoto, and Y. Naruse, "Estimation of human workload from the auditory steady-state response recorded via a wearable electroencephalography system during walking," Frontiers in human neuroscience, vol.11, p.314, 2017.
- M. Sabri, C. Humphries, M. Verber, E. Liebenthal, J.R. Binder, J. Mangalathu, and A. Desai, "Neural effects of cognitive control load on auditory selective attention," Neuropsychologia, vol.61, pp.269–279, 2014.

ご静聴ありがとうございました

資料

ITC値の抽出方法



$$ITC[ch] = \left| \frac{\sum_{k=1}^K \exp(j\theta_k^f[ch])}{K} \right|$$

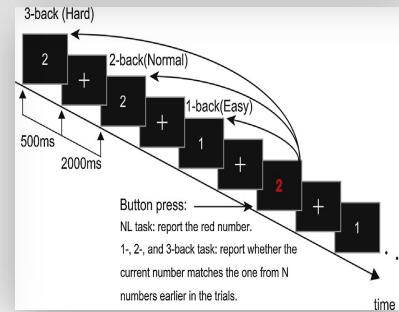
F : 周波数

ch: チャンネル数

θ_k^f : 周波数fと電極chの位相

k : トライアル番号

K: トライアルの数



[Yokota+, 2017]