

言語獲得に関わる統計学習と獲得知識の修正過程

Statistical learning in language acquisition and the correction of acquired syntactic knowledge

大黒 達也, 矢富 裕, 湯本 真人
東京大学大学院医学系研究科 病態診断医学講座

Tatsuya Daikoku, Yutaka Yatomi, Masato Yumoto

Department of Clinical Laboratory, Graduate School of Medicine, The University of Tokyo

Abstract

We studied the time-course of linguistic statistical learning. Neuromagnetic responses to the Japanese-vowel sequence (a, e, i, o, and u) that were presented every 0.45 seconds were recorded from 14 right-handed Japanese. The five nonsense words (aue, eao, iea, oiu, and uoi) were ordered with the constraint that the probability of the forthcoming word was statistically defined by the most recent two words (Markov model). All of the word transition ratios were swapped at the middle of the sequence. The neuromagnetic responses to stimuli with higher transitional probability were significantly reduced. After the swapping, the response reduction was replicated. Linguistic statistical knowledge can be acquired in a holistic-to-analytic direction: listeners learn larger structures such as phrases from language sequence first and they subsequently extract smaller structures such as words from the learned phrases.

1. 目的

言語や音楽にはそれぞれ固有の体系的構造がある。我々はこのような構造をどのように学習しているのだろうか？我々が外国語を学ぶ際は、文法や単語などの知識を体系付けて学ぶことができる。しかし、乳幼児が母語を学習する場合、体系的知識なしに音の塊から単語や構文構造を抽出し理解し

なければならない。学習領域固有の知識が無くても新規の情報体系を学習する事が出来るのはなぜなのか？この疑問に関して、学習者が前提知識のない状態で新しい情報にさらされた時、学習領域に依らない領域一般的なメカニズムが発動するとの報告がある。その一つとして統計学習が主張されている^[1]。統計学習に関する研究で、言語の人工文法や音楽的な構文など、様々な音列の統計的構造モデルとしてマルコフ連鎖が用いられてきた(図1)。しかし、マルコフモデルを使って、統計学習が行われていく過程を神経生理学的に検証している研究は非常に少ない。我々は先行研究において、学習が進むにつれて統計的に出現確率の高い刺激は確率の低い刺激に比べて、脳磁場応答が低下するという神経生理学的現象から統計学習効果を客観評価できる事を確認した^{[2][3]}。本研究では言語統計学習に関わる単語抽出と語順の学習、獲得知識の修正過程を脳磁場応答から検証する。

2. マルコフモデル: 2つ前までの事象で次の事象が決まる

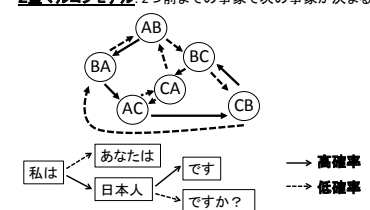


図1. マルコフ連鎖の状態遷移図(上)とマルコフモデルによる語列の例(下).

2. 方法

2.1 被験者

絶対音感のない右利き健常者 14 名を対象とした (24-36 歳, 女性:7 名).

2.2 音列

Formant synthesizer (HLsyn) で作成した日本語 5 母音 (持続時間 400 ms, rise/decay 10/200 ms)

を, SOA 450 ms, 音圧 80 dB SPL で 1800 音両耳提示した (F0, F1, F2 = a: 120, 780, 1200, o: 138, 610, 700, e: 158, 600, 1500, u: 182, 430, 1000, i: 209, 420, 1800 Hz). 提示順は aue, oiu, eao, uoi, iea は一塊として出現し, これらの塊同士は 2 重マルコフ連鎖 (図 1) に基づき 2 分岐確率遷移 (0.8, 0.2) させ, 1800 音の音列中央で確率を反転させた (図 1, 2).

2.3 計測・解析

306 チャンネル全頭型脳磁計 VectorView を使い, 200 Hz の antialiasing filter を経た脳磁場をサンプリング周波数 600 Hz で記録し, 2-40 Hz band-pass filter で処理した後, 刺激前 100 ms の平均値で DC offset した. 単語内の 3 音 (initial, middle, final tones) に対する応答を単語遷移確率 (80, 20%) 毎に 30 回ずつ加算平均し, 半球毎に求めた P1m, N1m 等価電流双極子を用いて source strength 波形を求めた. 各 portion で P1m, N1m の peak 振幅, 潜時を分散分析し (部位: 左, 右半球 × 音: initial, middle, final tones × 確率: 80, 20%), Bonferroni 補正により有意水準を設定した ($P < .05$).

2.3. 行動実験

刺激提示後, 本実験の統制に基づく 15 音列 (word-ordered series: WOS), 単語を疑似ランダムに並べた 15 音列 (random word series: RWS), 母音を疑似ランダムに並べた 15 音列 (random vowel series: RVS) を各 10 回順不同に提示し, 聴き覚えの有無をインタビューした. 反復測定分散分析および下位検定し, Bonferroni 補正により有意水準を設定した ($P < .05$).

3. 結果

3.1. 行動実験

WOS と RWS では chance level より有意に聴き覚えがあると答えた (WOS: $t[13] = 4.48, p = .001$, RWS: $t[13] = 2.48, p = .03$). WOS では RWS と RVS より有意に聴き覚えがあると答えた (RWS: $p = .04$, RVS: $p = .0001$).

3.2. 脳磁場応答

1st, 2nd, 4th portion で, 低確率遷移した単語に対する P1m の peak 振幅は高確率のものとは比べて

有意に高かった (1st: $p = .016$, 2nd: $p = .036$, 3rd: $p = .037$; 図 3). 4th portion で, initial tone に対する N1m の peak 振幅は final tone と比べて有意に高かった ($p < .042$; 図 4)

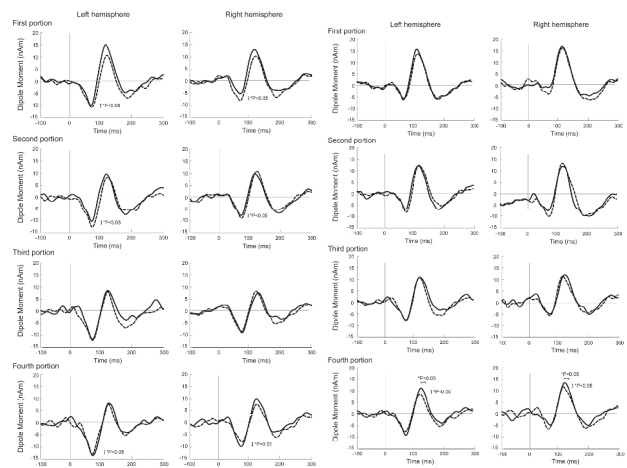


図 3. 単語の遷移確率毎の聴覚誘発応答. 音列前半: 実線 80%, 点線 20%. 音列後半 (確率反転): 実線 20%, 点線 80%.

図 4. 単語内の 3 音毎の聴覚誘発応答. 太線, 細線, 点線はそれぞれ第 1, 第 2, 第 3 音を示す.

4. 考察

単語抽出のみならず, 構文構造も統計学習される事が明らかになった. また, 獲得知識の修正には新規の学習よりも時間がかかることが示唆された. 更に, 言語の統計学習においては, 先に大きな構造 (フレーズ) を学習し, その後, 小さな構造の学習 (フレーズ内の単語抽出) が続く時間経過が明らかとなった.

5. 参考文献

- [1] Saffran JR, Aslin RN, Newport EL. Statistical learning by 8-month-old infants. *Science* 274, 1926-28 (1996).
- [2] Daikoku T, Yatomi Y, Yumoto M. Implicit and explicit statistical learning of tone sequences across spectral shifts. *Neuropsychologia* 63, 194-204 (2014).
- [3] Daikoku T, Yatomi Y, Yumoto M. Statistical learning of music- and language-like sequences and tolerance for spectral shifts. *Neurobiology of Learning and Memory*, in press (2015). Doi: 10.1016/j.nlm.2014.11.001.