

第二言語の理解と学習における誤りの重要性

新 井 学

1. はじめに

私たちが言葉を理解する時、それが音声であれ文字による情報であれ、「漸進的」(incremental)に情報を処理していると言われる。漸進的処理とは、文の理解において完全な情報が得られるまで(多くの場合文末まで)待たずに、言語情報を順次受け取っていく過程で、判断を留保することなく随時可能な分析を行う情報処理方略を意味する。人間の言語は、語彙の意味や音声、また文構造に関する情報など様々なレベルで曖昧性が存在するため、この漸進的処理は時として誤った解釈を導く。この代表的な例として(1)のような「ガーデンパス文」と呼ばれる文が挙げられる。

(1) The horse raced past the barn fell.

この例文を左から右へと読んで理解する時、通常読者は文末の動詞‘fell’を見た時に処理困難を経験する。これは、最初の動詞‘raced’を見た時に、その後に来る情報を待たずに、この動詞を主節動詞として誤って分析することに起因している。そして、文末の主節動詞が現れた時点で解釈の誤りに気づき、‘raced past the barn’を主節構造の内部に埋め込まれた関係節とする再解釈が必要になり、認知的な処理負荷が生じる。ガーデンパス文とはこのように一時的な構造曖昧性によって誤った解釈が初めに採用され、後に来る情報によって正しく分析し直す必要に迫られ、処理困難を経験する種類の文を意味する。

漸進的処理は限られた記憶容量を持つ私たちにとって効率的な処理方略

である一方、この例からも明らかなように、誤った解釈を導き、後に処理困難が生じるリスクを伴う。このような誤分析はコミュニケーションにおける誤解、または破綻を引き起こす可能性があるため、出来る限り避ける必要がある。そのため、効率性を犠牲にせず、且つ可能な限り誤った解釈を避けるため、私たちは日常の言語理解において、文脈、語彙の意味情報、世界知識など様々な情報を利用していることが知られている (Altmann and Steedman, 1988; MacDonald et al., 1994; McRae et al., 1998)。その中でも本研究が対象とするのは、一つ一つの文の理解の経験が次の文の処理に与える影響である。

私たち言語使用者は、今までの言語情報をどれ程経験してきたかという統計的情報を保持していて、その経験に基づく情報によって漸進的な情報処理を決定している (Mitchell et al., 1995)。先のガーデンパス文の例で言うと、名詞句 ('raced') の後に、過去形と過去分詞形が同じ形を持つ動詞が続いた場合、主節構造の方が、関係節構造に比べてはるかに頻度が高いため、この動詞は通常主節動詞だと解釈される。さらには、このような抽象的な構造知識の頻度情報だけではなく、個々の語彙と結びついた構造知識の統計的情報も分析に影響を与えることが最近の研究でわかっている (Garney et al., 1997; Trueswell et al., 1993)。この例では、'raced' という特定の動詞の過去形および過去分詞形は、主節構造で使われる方が関係節構造で使われるよりも頻度が高いという語彙固有の情報を意味する。

重要なことに、この経験に基づく情報は一度言語を一定レベルまで獲得した後は安定して変わらないものではなく、常に新たな経験によって更新される順応性が高いものだと考えられている。この変化は通常意識できない潜在的なものであり、経験に基づく知識の更新という意味で学習の一つと考えられ、一般的に「潜在学習」(implicit learning) と呼ばれる。そして、この潜在学習によって引き起こされる行動または言語使用における変化のことを「適応」(adaptation) と呼ぶ (Fine and Jaeger, 2013)。今までの研究に

よって、すでに母国語を獲得した成人においても、言語知識（音声情報や意味情報、統語情報などすべての種類を含む）には順応性があり、日々の経験によって絶えず変化することが明らかになっている（音声情報では Norris et al., 2003, 統語構造では Wells et al., 2009; Kaschak and Glenberg, 2004 を参照）。これはつまり、言語習得は私たちが生まれてから始まり、一生涯を通して終わりなく続いていることを意味している。

言語情報の処理によって潜在学習が引き起こされることの最も直接的な証拠は、プライミングと呼ばれる現象である。プライミングとは、ある特定の情報を経験することで、次にまた同じ（または類似する）情報を処理するプロセスが影響を受けることを指す。プライミング現象はそれを引き起こす情報の内容によって複数の種類に分類され、それぞれ「意味プライミング」、「音声プライミング」などと呼ばれる。本稿で対象とするのは、文章の構造に関する知識（統語知識）であり、そのプライミング現象は「統語プライミング」と呼ばれる。統語プライミングとは、ある構造情報を処理する際、もし過去（通常直前）に別の文で同じ構造情報を処理した場合、その経験によって現在の処理が容易になる現象を指す。この現象は初め Bock (1986) の言語産出実験によって観測され、その効果は当初、特定の言語構造情報を産出する処理過程が一度使用されることで、再び同じ過程を繰り返すことが容易になることに起因すると考えられたが、後の研究によって統語プライミングは、言語理解においても観測されること (Arai et al., 2007), 一定の時間的持続性があること (Bock and Griffin, 2000), また効果の大きさは構造情報の頻度と反比例の関係にあること（頻度の低い構造である程プライミング効果が大きい）(Scheepers, 2003), が明らかになり、単なる特定の産出過程の再利用における処理促進ではなく、抽象的な統語情報の経験に基づく学習を反映していることがわかってきた。

この統語プライミング現象が、潜在学習を反映していることを初めに主張し、数理モデルによる実証を行ったのが Chang et al. (2006) である。彼

らは、単純回帰型ネットワーク (Simple Recurrent Network) を利用したエラーに基づく学習 (error-based learning) メカニズムを持ったモデルを構築し、過去の統語プライミングに関する多くの研究結果をシミュレートすることに成功した。彼らのモデルの重要な点は、文を理解する上で、受け取ったインプットは即座に既存のシステムに反映され、それに基づいて次に現れる単語の予測を行うことである。もし、予測したアウトプットと実際に受け取ったインプットが異なる場合、その差異 (「予測エラー」と呼ばれる) によって既存の統語知識を表象しているネットワークに変更が加えられる。つまり、彼らのモデルによると、統語プライミング効果はプライム文を理解したときに予測エラーが起きることで、実際に出現した構造のネットワークの重みが増し、その構造を次に予測する確率が高まることによって引き起こされると想定されている。

Chang et al. のモデルはもともと言語産出におけるプライミング現象を説明するメカニズムとして提唱されたが、近年では、言語理解においても同じメカニズムによってプライミング効果が起こることを示す研究報告が多くあり、統語プライミングを、言語使用のモード (産出・理解) と関係なく、潜在学習を反映する一つの現象として考えるようになってきた。それに従って、統語知識に限らず、より一般的な予測エラーに基づく潜在学習のモデルによってこの統語プライミングを説明する試みがいくつかなされている。それら研究の理論的な基盤として広く採用されているのが **Surprisal 理論** (Hale, 2001; Levy, 2008) と呼ばれる確率に基づく予測的文処理理論である。この理論は、人は文を理解する際、各語句において、それまでに受け取った情報 (その時点で処理している文に限らず過去に処理した情報も含む) に基づき次に来る情報の出現確率を計算し、予測的に曖昧性を解決することを想定している。そして、この予測確率とその情報が実際に出現した時の処理負荷との間に反比例の関係を定義し、言語情報処理におけるコストの定量化を可能にしている。近年、言語理解においてこのよう

な予測的な情報処理に関する研究が多くなされており (Altmann and Kamide, 1999), それに伴いこの Surprisal 理論は大きな注目を集めている。Chang et al. (2006) が主張する通り予測エラーの大きさが学習の度合いを反映しているのであれば, 特定の言語情報に対する予測確率が低ければ低いほど, それが実際に起こった時にはエラーが大きく, 結果としてその情報の学習効果が大きくなると考えることができる。先のガーデンパス文の例で考えると, ‘past the barn’ まで読んだ時点での関係節構造の予測確率はかなり低いことが予測され, そのため文末動詞 ‘fell’ において処理負荷が非常に高くなり, その予測エラーによって学習が起こり, 次に関係節構造を予測する確率が上昇すると考えられる。

統語プライミング現象が, 予測エラーに基づく学習を反映していることを示唆する研究報告は年々増えてきている (Fine and Jaeger, 2013; Fine et al., 2013; Hartsuiker et al., 2008)。Fine et al. (2013) は, 最初の動詞が主節動詞である文 (2a) と埋め込まれた関係節内の動詞である文 (2b) のいずれかを被験者が経験することによって, 後続文の処理がどのように影響を受けるか検証した。

(2a) The experienced soldiers warned about the dangers before the midnight raid.

(2b) The experienced soldiers warned about the dangers conducted the midnight raid.

その結果, 一時的曖昧性を含む関係節文 (2b) を読む際の, 曖昧性が解消される時点 (‘conducted’) で生じる処理負荷が, その時点までに実験内で経験した主節構文と関係節構文の出現頻度の割合に従って変化するという累積的なプライミング効果が示された。また, Fine and Jaeger (2013) は, Thothathiri and Snedeker (2008) による眼球運動データを再分析し, surprisal を指標として定量化された予測エラーによって言語理解における統語

プライミング効果が説明できることを報告した。具体的には surprisal を、今までの文脈 (preceding context) に基づいて特定の構造 (structure) が予測される確率 (p) の負の対数値として計算し ($-\log p(\text{structure} | \text{preceding context})$), プライム文処理における surprisal が高ければ高いほど、プライミング効果が大きかったことを示した。

上に紹介した通り、統語プライミングが予測エラーに基づく潜在学習を反映していることが最近の研究によって明らかになってきたが、これらの研究が対象としているのは成人した母国語話者である。そのため、これらの研究結果が示しているのは既に獲得した統語知識の変化であり、それまで知らなかった情報、または不完全であった知識が獲得されるという意味における学習ではない。そして現在、予測エラーに基づく学習モデルがこのようなより一般的な意味での学習に対しても有効か否かについてはほとんど研究報告が存在しない。そのため、本研究は、第二言語話者を対象にすることによって、エラーに基づく学習仮説が統語知識の学習全般において有効であるか検証することを目標とする。

本実験では、英語関係節文を日本人英語学習者に以下の2条件で提示した (3a, 3b)。

- (3a) The professor assisted in the difficult experiment enjoyed the task.
(3b) The professor who was assisted in the difficult experiment enjoyed the task.

(3a) は、埋め込まれた関係節における関係代名詞および連結動詞 (ここでは was) が省略されており (以下、「縮約関係節文」と呼ぶ)、予測エラーが起これると予想される文である。詳しく述べると、主語名詞句に続く動詞 ('assisted') は、過去形と過去完了形が同型であり構造的に曖昧である。しかし主節構造の方が関係節構造よりも頻度が遙かに高いので通常読者はこの時点の漸進的分析として主節構造を選択する。次に来る前置詞句 'in the

group' は、主節分析を反証する証拠にはならない（潜在的な項情報を持つ自動詞構造である可能性があるため）のでそのまま主節構造解釈が保持される。このような場合、そのまま元の分析が保持されることでその構造の予測確率が更に高まるのが過去の研究から知られている（「digging-in 効果」と呼ばれる, Arai and Nakamura, 2016）。よって通常前置詞句を処理した時点における主節構造の予測確率は非常に高いと考えられる。これが次の主節動詞（'enjoyed'）において反証され予測エラーとなり、学習を引き起こすと考えられる。重要なのは、関係節文を経験するごとに関係節構造の予測確率は高まるため、予測エラーは次第に小さくなる。つまり、予測エラーを反映する処理コストはセッションの初めが最も大きく、縮約関係節の経験に伴って段階的に小さくなっていくことが予想される。

一方 (3b) は、関係代名詞と連結動詞が省略されておらず（以下、「非縮約関係節文」と呼ぶ）、動詞において曖昧性がないため、予測エラーが起きないと予測される文である。つまり、主語名詞句に続いて関係代名詞が来た時点で、主節構造の出現確率は0となり、誤った予測自体起きないと考えられる。それゆえ、(3b) の文を処理することによってこの関係詞構造の潜在学習は起こらないと考えられる。本実験では非縮約関係節文の文をコントロール文として、縮約関係節文との読み時間の差を見ることで学習効果を検証する。重要なのは、二つの条件の文は、同じ語彙からなる同じ意味を持ち、一時的な構造的曖昧性が存在するか否かにおいてのみ異なることである。過去の母国語話者を対象とした統語情報の学習における研究では、統語構造の予測出現確率は文単位の経験にもとづいて計算されていた (Fine and Jaeger, 2013)。そのためこれらの結果からは、実際に文中に含まれる構造的曖昧性が潜在学習に対して決定的な役割を担っているかどうか不明であった。もし、予測エラーが関係節構造というひとまとまりの統語情報に対して計算されるのであれば、その構造に一時的曖昧性が含まれているか否かは影響しないはずであり、主節構文など他の構文との相対的

な確率だけが影響するはずである。しかし、本研究で検証する構造的曖昧性が予測エラーを引き起こす決定的要因であるとするれば、構造的に非曖昧である場合には予測エラーは起こらない、つまり非縮約関係節文においては学習が起こらないはずである。Surprisal モデルも Chang et al. のモデルも、各語における漸進的处理を前提としているので、本研究では、予測エラーが起こると予想される、つまり構造的曖昧性が解消されるリージョンでの読み時間を指標として仮説検証を行う。本研究は、構造情報を共有していながら、構造的曖昧性という一点においてのみ異なる文を比較することで、エラーに基づく学習モデルにおいて最も根幹である、語句レベルの処理から起こる予測エラーの役割を検証する初めての実験となる。

2. 実験

2.1. 被験者

東京大学(大学院総合文化研究科)に協力頂き、当大学の学部生から被験者を募り、28名に実験に参加してもらった。すべての参加者は実験開始前に任意参加を確認する同意書に署名をし、実験終了後に規定の謝金を受け取った。

2.2. 実験デザイン

被験者は無作為に2つのグループのどちらかに割り当てられ、2つのセッションからなる読み実験に参加してもらった。第1セッションにおいて、片方のグループ(以下、「曖昧関係節グループ」と呼ぶ)では、合計48の英語文のうち16の実験文(32文はフィラー文)全てが構造的曖昧性を含む縮約関係節(3a)である条件で実験を行った。そしてもう一方のグループ(以下、「非曖昧関係節グループ」)では全ての実験文が曖昧性を含まない非縮約関係節文(3b)である条件で実験を行った。短い休憩を挟んだ後の第2セッションでは、グループの区別なく、半数が縮約関係節文、もう半数が非

第二言語の理解と学習における誤りの重要性

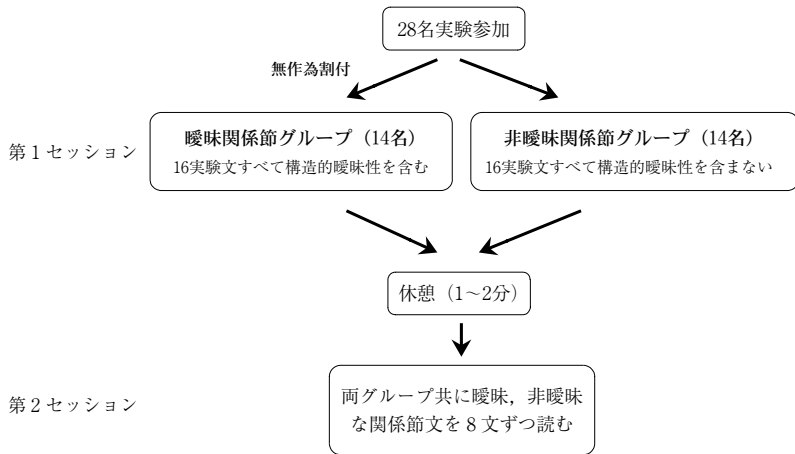


図1. 実験手順

縮約関係節文でランダムに提示された。実験文とフィラー文の比率は第1セッションと同じであった。第2セッションでは、関係詞文の理解に対する学習の効果を計るために、フィラー文を含む全ての文に対して質問文が提示され、その回答が記録された。

刺激文(実験文、フィラー文を両方)は、実験項目が連続しないという制限付きでランダム化され、各実験リストにおいて、一人の被験者に各項目が各条件で一度しか提示されないようラテン方格デザインに従い作成した(2×2デザインのため、4つのリストを作成)。

2.3. 手続き

実験は心理学実験ソフトウェア E-Prime (Psychology Software Tools) を用いて作成され、ラップトップ PC 上で実行された。刺激提示は自己ペースリーディング法と呼ばれる手法を用いて、被験者自身がスペースバーを押すたびに単語で区切られた刺激文がディスプレイ上に順次提示された(Just et al., 1982)。この実験手法は、実験参加者が自分の理解の速度に合わ

せて文を読み進めることができ、各リージョンにおける反応時間を指標として各語句の処理コストを定量化することができる。そのため、文理解における実時間の情報処理過程を見る上で有効な手法として広く利用されている。

2.4. 結果

読み時間データの分析結果について、まず第1セッションの結果を報告し、続いて第2セッションの分析結果を次に報告する。

2.4.1. 第1セッション：読み時間

興味対象とする文の範囲（以下「リージョン」）は二つあり、一つは構造的曖昧性が解消され典型的なガーデンパス効果が起こることが予測される主節動詞のリージョン（以下、「主節動詞リージョン」）で、もうひとつはそのガーデンパス効果が遅れて現れる（スピルオーバーと呼ばれる）ことが予想されるその次のリージョン（以下、「ポスト主節動詞リージョン」）である。以下この二つのリージョンにおける読み時間に対する分析結果を報告する。図2はこの二つのリージョンにおけるグループごとの読み時間の被験者平均を示している。

この二つのリージョンの読み時間データは左右不均等で右に裾の長い歪みが見られたため（歪度 >0 ）、対数変換を行い、それら極端な値が平均値の推定に過度に影響することがないようにした。図3はポスト主節動詞リージョンにおける元の読み時間と対数変換した後の読み時間でQ-Qプロット(Normal Quantile-Quantile Plot)を描画している。読み時間データがもし正規分布に完全に従う場合、グラフ上で右斜め45°の直線上にデータが乗る。グラフからわかるように元々の読み時間は歪みが大きいですが、対数変換することで正規分布に近似することがわかる。

この二つのリージョンにおける読み時間を従属変数として線形混合モデ

第二言語の理解と学習における誤りの重要性

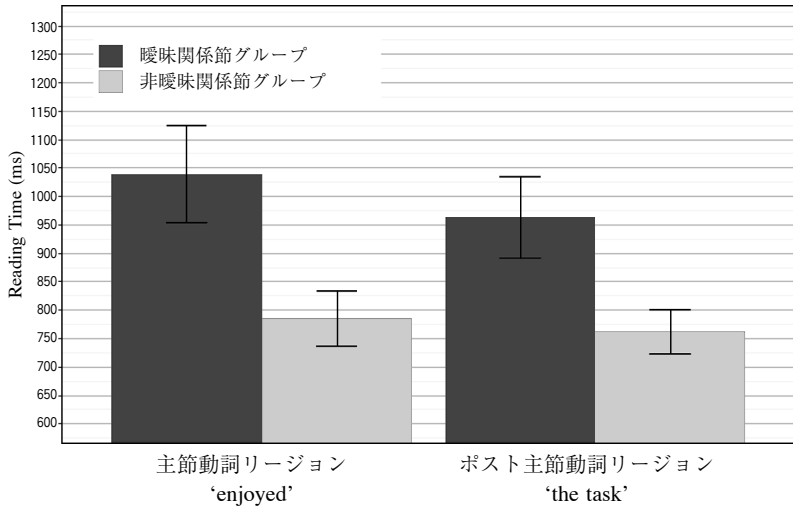


図 2. 主節動詞リージョンと、ポスト主節動詞リージョンにおける読み時間の各グループにおける被験者平均 (エラーバーは標準誤差)

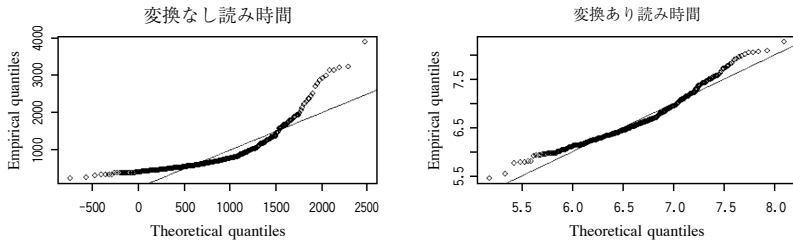


図 3. ポスト主節動詞リージョンにおける変換無し読み時間 (左) と対数変換した読み時間 (右) の Q-Q プロット

ル (Linear Mixed-Effects Models) を用いて統計分析を行った。線形混合モデルは、線形回帰モデルを拡張したもので、説明要因とともに複数のランダム要因を同時に式に含めることができ、さらに探索的なモデル選択を行って説明要因の効果を検証することが可能である。言語を扱う研究において

は、一定数の被験者、そして、一定数の実験刺激からデータが得られるため、この二つの異なるソースのランダム要因を一つのモデルに同時に含むことができるメリットは非常に大きい (Baayen, 2008; Baayen et al., 2008)。

線形混合モデルに含めた説明要因は以下の2つである。被験者間要因として第1セッションにおけるグループ (曖昧関係節文グループ/非曖昧関係節文グループ)、そしてそれぞれのグループで16の実験項目が提示された順番 (「項目提示順序」)。項目提示順序は、1から16の数字を中心化し線形変化を想定した1次項の共変数と、曲線を想定した2次項の共変数両方をモデルに加え、それぞれグループ要因との交互作用を含めた。ランダム効果はすべての説明要因のランダムスロープを含めた最大構造 (グループは被験者間デザインなので被験者ランダム要因には含まれない) を持つモデルを最初に検証した。そしてモデル探索には、始めに主成分分析 (Principal Components Analysis, 以下 PCA) を用いて主成分の個数を算出しモデルがパラメータ過多となっていないか確認した。次に相關パラメータを含めないモデルを比較し、そこから最も分散の少ないランダム変数パラメータから順にその必要性を検証しモデルを単純化していく後退的選択法を用い最適モデルを探索した (Bates et al., 2015)。興味対象としているリージョンにおいて条件間で同じ語彙が提示されたため、文字数は共変数として含めなかった。最適モデルが得られた後で、モデルの推定値との差、つまり残差がその分布上 $\pm 2.5SD$ を超える値は「外れ値」と見なし取り除き、残りのデータに対して同モデルを再び当てはめた (Baayen, 2008)。線形混合モデルにおいては、自由度の決定が難しく、そのため係数ごとに算出される t 値には自由度が考慮されていない。そのため、線形混合モデル分析を行う代表的な R パッケージである `lme4` では p 値の計算が行われない (Bates, 2005)。そのため本論文では、 p 値を報告せず、データに対して正規分布を仮定し、各効果に対して算出された t 値の絶対値が2と等しいかそれ以上 (つまり平均から SE 2つ分以上離れている) の場合に有意な差が

あると判別する (Gelman and Hill, 2007)。

結果として、主節動詞リージョンとポスト主節動詞リージョンにおいて同一のパターンが観測されたため、以下にポスト主節動詞リージョンにおける分析結果のみ提示する。表1はポスト主節動詞リージョンの読み時間データに対する最適モデルの結果を示している。

まず、グループの主効果は見られず、項目提示順序 (1次項, 2次項両方) には有意傾向はあるものの (尤度比検定による p 値の計算では $p=.098$ (1次項) と $p=.063$ (2次項)), 主効果は見られなかった。しかし、グループと1次項項目提示順序、およびグループと2次項項目提示順序の交互作用が共に有意であった。これを受けて、各グループにおける項目提示順序の単純主効果を調べるために、上記の最適モデルにおけるグループ説明変数のコーディングにおいて片方のレベルを0、もう一方を1として、もう一度同じモデルを当てはめた ('computer code' と呼ばれる, Aiken and West 1991; Dawson, 2014)。この方法のメリットは上記の最適モデルと実質的に同一であるため、サブセットデータに限定した下位検定を行うことによる多重検定の問題が生じないことである。この結果、曖昧関係節グループを0としたモデルでは、1次項項目提示順序と2次項項目提示順序両方の単純主効果が有意であった (それぞれ $\beta=-0.02$, $SE=0.01$, $t=-2.51$; $\beta=0.01$, $SE=0.00$, $t=2.87$)。一方、非曖昧関係節グループを0としたモデルでは、両方で単純主効果は見られなかった (それぞれ $t=-0.20$; $t=0.33$)。この結果、

表1. ポスト主節動詞リージョンにおける読み時間データに対する最適モデルの結果

	<i>Coeff.</i>	<i>SE</i>	<i>t</i>
(切片)	6.55	0.07	
グループ	-0.01	0.12	-0.08
項目提示順序 (1次項)	-0.01	0.01	-1.60
項目提示順序 (2次項)	0.00	0.00	1.82
グループ × 項目提示順序 (1次項)	0.02	0.01	2.19
グループ × 項目提示順序 (2次項)	-0.00	0.00	-2.69

曖昧関係節文グループにおいてのみ読み時間が項目提示順序とともに有意に減少したことが明らかになった。その減少変移は2次項の曲線も当てはまり、係数が正の値を持つので、下方に凸の曲線、つまり値の減り方が段階的になだらかになっていったことが示された。

結果をまとめると、第1セッションにおいて曖昧関係節グループの実験文における読み時間は項目提示順序に従って、段階的に減少した。これはこのグループの被験者がセッション内でこのガーデンパス構文を学習していった事を示している。反対に、非曖昧関係節文グループの実験文における読み時間には項目提示順序の影響は見られなかった。つまり同じ関係節文であっても、構造的曖昧性が含まれない場合には、関係節構造の学習は起きなかったことが示唆された。また、交互作用によって曖昧関係節グループにおける読み時間の減少が実験形式に対する被験者の慣れ、つまり練習効果に起因しているのではないことが明らかになった。図4は各グループのポスト主節動詞リージョンにおける読み時間を各項目の提示順序ごとに示している。ここではより検定値の高かった2次項項目提示順序による適合線を表示している。

この結果のパターンは、予測エラーに基づく潜在学習仮説と合致し、仮説に対する実証的な証拠として捉えることができる。しかし、一つの可能性として、曖昧性を含まない関係節文はもともと処理負担を伴わないため、読み時間がもともと短く、そのためたとえ学習が起きていたとしても、それ以上読み時間が短くなるということがない、という床面効果による結果である可能性も考えられる。もし、そのように学習は起こっていたが読み時間に反映されなかったとしたら、非曖昧関係節グループが第2セッションで縮約関係節文を見たときに、曖昧関係節グループと同様に処理負担は減少しているはずである（つまりガーデンパス効果が曖昧関係節グループと同様に小さい）。この可能性について第2セッションの読み時間をもとに検証する。

第二言語の理解と学習における誤りの重要性

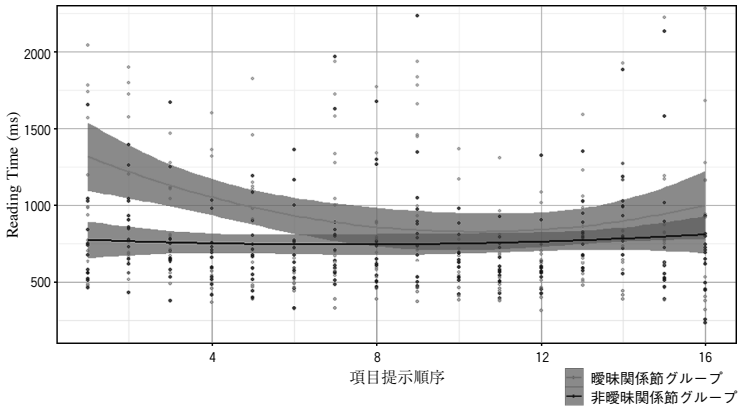


図4. 各グループにおける項目提示順序ごとのポスト主節動詞リージョンの読み時間（第1セッション）

2.4.2. 第2セッション：質問文の回答

第2セッションでは関係節文の正しい理解に対する学習効果を見るため、実験文の後に質問文を提示した（実際は実験文のみではなくフィラー文を含めすべての文に質問文を提示した）。実験文に対する質問は“Did the professor assist somebody in the difficult experiment?”のように誤った初分析解釈を正しく棄却したかどうか（つまり正しい解釈が行われたかどうか）確かめる質問文であった。フィラー文の後の質問文を含めたすべての質問に対する回答の正答率は平均で88.8%であった。表2は第2セッションの実験文に対する質問文のみの正答率を各関係節タイプ、各グループで示している。

この質問に対する回答データを正解／不正解の二項変数として、一般化線型混合モデルを使って分析を行った。説明要因は関係節タイプ（縮約関係節文／非縮約関係節文）、グループ（曖昧関係節グループ／非曖昧関係節グループ）の二つで、交互作用をあわせてモデルに含めた。モデル探索においては、先の読み時間と同じ手順を踏んで後退的選択法を用いた。表3は最適モデルによる結果を表している。一般化線形混合モデルでは最尤法を

用いるため z 値が報告される。そのためここでは正規分布を仮定し、 z 値が 1.96 かそれ以上の場合有意であると判定する。

結果として、関係節タイプの主効果のみが有意であった。これは縮約関係節文の方が、非縮約関係節文に比べて正答率が低く、構造的曖昧性によって誤った初分析に基づく解釈が保持されたことを意味する（「Good enough 表象の保持」と呼ばれる、Christianson et al., 2001）。重要なのは、グループの効果であるが、表 2 からその影響の傾向は見られるものの（数値的に曖昧関係節グループの方が正答率が高い）、最適モデルの結果においてグループの主効果、及びグループと関係節タイプとの交互作用は共に有意ではなかった。一つの可能性として、サンプルサイズが十分ではなく、検定力不足であったことが考えられるが、この結果から第 1 セッションにおける学習効果が、直接関係節文の理解の向上へ繋がることを示す結果は得られなかった。次に読み時間における学習効果の影響を検証する。

表 2. 第 2 セッションにおける実験文に対する質問の関係節タイプ、グループごとの正答率

	曖昧関係節グループ	非曖昧関係節グループ
縮約関係節文	83.9%	76.8%
非縮約関係節文	96.4%	87.5%

表 3. 質問の回答データに対する最適モデルの結果

	Coeff.	SE	z
(切片)	2.90	0.47	
関係節文タイプ	1.55	0.40	3.93
グループ	-0.95	0.74	-1.29
関係節文タイプ × グループ	-0.91	0.76	-1.19

2.4.3. 第2セッション：読み時間

第2セッションでは両グループともに同じ条件で実験を行った。実験文は半数の8文が縮約関係節文、もう半数が非縮約関係節文の合計16実験文を、32フィラー文と共に提示した。読み時間の分析において質問文に対し誤った回答が記録された試行は分析対象から除外した。図5は主節動詞リージョン(‘enjoyed’)における読み時間の被験者平均を各グループ、各文タイプで示している。

先の分析と同様、第2セッションにおける主節動詞リージョンの読み時間に対して線形混合モデルを適用し、分析をおこなった。説明要因はグループ(曖昧/非曖昧)、そして関係節タイプ(縮約/非縮約)、そして項目提示順序(1~16)の3つで、中心化し全ての交互作用を含めモデルに加えた。最初のモデルでは、項目提示順序は一次項と二次項両方のパラメータを含めたが、二次項の共変数は影響が見られなかったため、モデルから除外した(モデル選択基準の一つであるAICの値は642から638へ下がり、よりシンプ

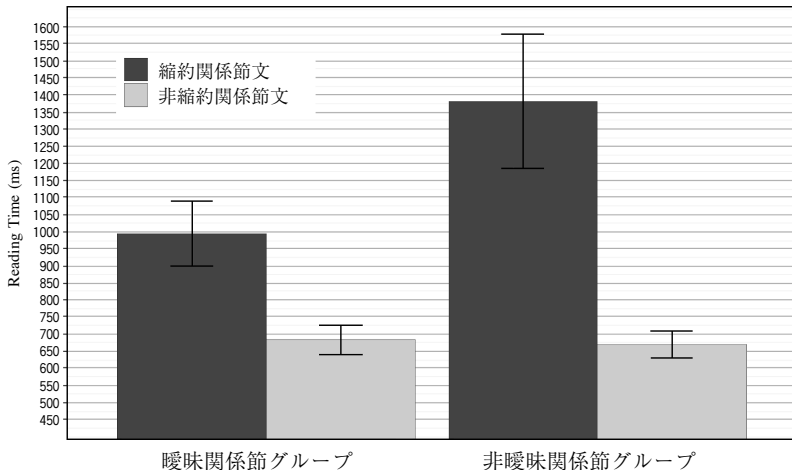


図5. 主節動詞リージョンにおける各グループ・各関係節文タイプの読み時間の被験者平均(第2セッション)(エラーバーは標準誤差)

表4. 主節動詞リージョンにおける読み時間に対する最適モデルの結果
(第2セッション)

	<i>Coeff.</i>	<i>SE</i>	<i>t</i>
(切片)	6.52	0.07	
グループ	0.12	0.14	0.86
関係節文タイプ	-0.26	0.08	-3.19
項目提示順序	-0.02	0.01	-2.27
グループ × 関係節文タイプ	-0.26	0.16	-1.60
グループ × 項目提示順序	-0.02	0.01	-2.47
関係節文タイプ × 項目提示順序	0.02	0.01	2.19
グループ × 関係節文タイプ × 項目提示順序	0.04	0.02	2.05

ルなモデルの方が優れていることが示された)。表4は、得られた最適モデルの結果を表している。

まず、関係節タイプの主効果が観測された。これは縮約関係節文の方が非縮約関係節文に比べて読み時間が長いという典型的なガーデンパス効果の意味している。また、項目提示順序の主効果が有意であった。これは実験セッションが進んでいくと共に読み時間が短くなるという練習効果を反映している。ちなみに、第1セッションにおいてこの練習効果は傾向が見られたものの有意ではなかった。そして、グループと項目提示順序、さらに、関係節タイプと項目提示順序の間に2要因交互作用が見られた。これによってグループ間の差および関係節タイプの差は項目の提示順序に依存することが示された。そして最も重要なことに、グループ、関係節タイプ、項目提示順序の3要因の交互作用が観測された。図6はこの交互作用のパターンを見るために、読み時間をそれぞれの関係節文のタイプに分けてグラフ化している。

この図からわかる通り、グループと項目提示順序の2要因の交互作用は、縮約関係節文に対してのみ観測され、曖昧性を含まない非縮約関係節文の場合には観測されなかった。このパターンは関係節文タイプのコーディングを(0, 1)および(1, 0)として最適モデルを当てはめることで確認す

第二言語の理解と学習における誤りの重要性

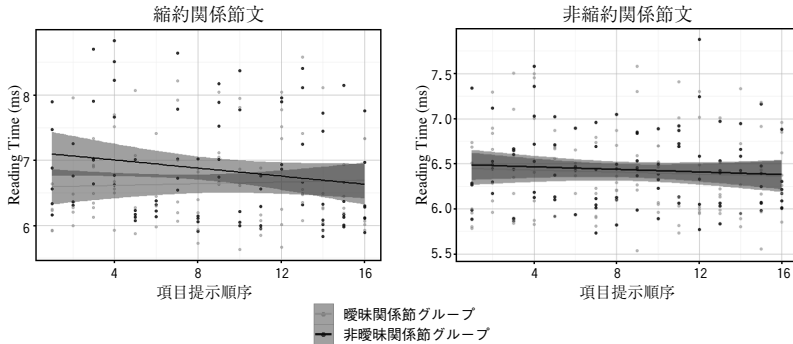


図6. 主節動詞リージョンにおける項目提示順序ごとの各グループ・各関係節タイプの読み時間（第2セッション）

ることができた（縮約関係節文における2要因交互作用， $\beta=-0.04$ ， $SE=0.01$ ， $t=-3.15$ ；非縮約関係節文における同作用， $\beta=-0.01$ ， $SE=0.01$ ， $t=-0.41$ ）。さらに，項目提示順序の単純主効果を検証した結果，非曖昧関係節グループにおける縮約関係節文では有意であったが（ $\beta=-0.05$ ， $SE=0.01$ ， $t=-4.39$ ），曖昧関係節グループにおける縮約関係節文では有意ではなかった（ $\beta=-0.01$ ， $SE=0.01$ ， $t=-0.58$ ）。これによって，第1セッションで非縮約関係節文を読んだグループは，第2セッションにおいて初めて現れた縮約関係節文に対しガーデンパス効果が観測され，その曖昧関係節の経験と共に段階的に処理負荷が減少したことが明らかになった。つまり，非曖昧関係節グループにおいては第2セッションで関係節構造の学習効果が観測された。

スピルオーバー効果が予測されるポスト主節動詞リージョンの読み時間データも同様に分析したが，3要因交互作用は観測されなかった。もし構造情報の学習が各語句で計算される予測的出現確率に影響を与えるのであればその効果は，再分析にかかる処理負荷と違って，即座に，つまり次のリージョンへ遅延することなく，観測されるべきだと考えられる。それゆえ，学習の効果が主節動詞リージョンでのみ観測されたことは，エラーに基づく学習仮説に合致する結果と言える。

3. 考察とまとめ

本実験の第1セッションにおいて構造的に曖昧な縮約関係節文を読んだグループは、そのセッションの開始直後ではその曖昧性に起因する処理負荷が大きかったが、縮約関係節文の経験と共に読み時間は短くなっていった。これは曖昧性を含む関係節文の処理における予測エラーによってこのグループの被験者が関係節構造を学習していったことを示している。一方、第1セッションにおいて非曖昧な非縮約関係節文を読んだグループでは、同じ語彙を用いた同じ意味の実験文を読んだのにも関わらず、セッションを通して読み時間の変化は見られなかった。これは文に曖昧性が含まれないので、理解の過程で予測エラーが生じず、構造情報の学習が起こらなかったためだと考えられる。

両方のグループの被験者を同じ条件でテストした第2セッションにおいて、縮約・非縮約関係節文の読み時間からグループ間の違いが明らかになった。第1セッションにおいて構造的に曖昧な関係節文を読んだグループでは、関係節構造の学習の結果、第2セッションの始めにおいて縮約関係節文の読み時間が早かった。対照的に、第1セッションにおいて非曖昧な関係節文を読んだグループは、第2セッションの始めに構造的曖昧性に起因する処理負荷（ガーデンパス効果）が観測された。しかし、この縮約関係節文の処理を通して第2セッション内で学習が起こり、項目提示順序に従って読み時間が段階的に短くなっていった。これによって、第1セッションにおいて非縮約関係節文に対する読み時間が変動しなかったのは、関係節構造の学習効果が床面効果によって観測されなかったからではなく、この構造情報の学習が起こらなかったからであることが明らかになった。

導入部で述べた通り、過去の統語プライミングの研究においては、縮約関係節文と主節文の比較のように、異なる種類の文を比較し文全体に対する予測出現確率を元に *surprisal* の指標が計算され、予測エラーの役割が

検証されてきた (Fine and Jaeger, 2013)。そのため、関係節文内の一時的構造的曖昧性がエラーに基づく学習仮説においてどのような役割を担っていたのか不明であった。本研究の結果により、構造情報の潜在学習には一時的な曖昧性によって起こる予測エラーが決定的な役割を担っていることが明らかになった。この研究結果はエラーに基づく学習仮説を支持する今までで最も説得力のある証拠であると言える。

もう一つ本研究において重要な点は、この予測の誤りにおける潜在学習の効果が第二言語学習者において観測されたことである。この結果によって、今までの潜在学習に関する研究結果、また、予測に基づく学習のモデルが第一言語のみならず、第二言語の学習においても当てはまることが示された。つまり、エラーに基づく学習モデルは、母国語話者の既に習得された統語知識の変化および適応のメカニズムとして有効であるだけではなく、より一般的な意味での学習、つまり不完全もしくは不安定な知識が経験を通して学習されてゆく過程のメカニズムにも有効であることが本研究の結果より明らかになった。

本研究における一つの欠点として、英語母国語話者をテストしていないことが挙げられる。このため、第二言語学習者と母国語話者の学習効果の差を検証することはできなかった。それゆえ、将来母国語話者からも同じ条件でデータを集めその結果を比較検証することが求められる。その結果もし同じパターンによる同程度の学習効果が観測された場合、第二言語学習者においても母国語話者と同じように学習が起きていることが明らかになる。しかし、第二言語学習者と母国語話者で学習効果が異なる可能性も十分考えられる。その場合パターンとして二つの可能性が考えられ、それぞれ重要な意味を持つ。一つは母国語話者の方が第二言語学習者よりも学習効果が小さく観測される可能性である。このような結果が得られた場合には、母国語話者は豊富な言語経験によってすでに十分なインプットを得ており、安定した統語情報の知識を得ているので、1つの実験内のロー

カルな統計的情報から第二言語学習者ほどには影響を受けないことが示唆される。これとは反対に、母国語話者の方が第二言語学習者よりも効果が大きく観測されるという可能性も考えられる。このような結果が得られた場合には、母国語話者は多くの言語経験を通して様々な文脈における言語情報分布の違いに慣れ親しんでいるため、ローカルな分布情報にもより敏感に反応することが示唆される。これは母国語話者の方がより環境への適応能力が高いことを意味し、言語の経験が蓄積していく中で適応能力が向上するという意味で、非常に重要な意味を持つ。本研究はその第一歩として、第二言語学習者の英語関係節文の理解において、予測エラーに基づく構造知識の学習効果を実証した。

参考文献

- Aiken, L. S., and West, S. G. (1991). *Multiple regression: Testing and interpreting interactions*. Newbury Park, London: Sage.
- Altmann, G. T. M. and Kamide, Y. (1999). Incremental interpretation at verbs: restricting the domain of subsequent reference. *Cognition*, 73, 247-264.
- Altmann, G., and Steedman, M. (1988). Interaction with context during human sentence processing. *Cognition*, 30, 191-238.
- Arai, M. and Nakamura, C. (2016). It's harder to break a relationship when you commit long. *PLOS ONE*, 11: e0156482. doi: 10.1371/journal.pone.0156482
- Arai, M., van Gompel, R. P. G., and Scheepers, C. (2007). Priming ditransitive structures in comprehension. *Cognitive Psychology*, 54, 218-250.
- Baayen, R. H. (2008). *Analyzing Linguistic Data: A Practical Introduction to Statistics using R*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Baayen, R. H. and Milin, P. (2010). Analyzing reaction times. *International Journal of Psychological Research*, 3, 12-28.
- Baayen, R. H., Davidson, D. J., and Bates, D. M. (2008). Mixed-effects modeling with crossed random effects for subjects and items. *Journal of Memory and Language*, 59, 390-412.
- Bates, D. M. (2005). Fitting linear mixed models in R: Using the lme4 package. *R News: The Newsletter of the R Project*, 5, 27-30.

- Bates, D. M., Kliegl, R., Vasishth, S., and Baayen, H. (2015). Parsimonious mixed models. *arXiv Preprint arXiv: 1506.04967*, 1-27.
- Bernolet, S. and Hartsuiker, R. J. (2010). Does verb bias modulate syntactic priming? *Cognition*, *114*, 455-461.
- Bock, J. K. (1986). Syntactic persistence in language production. *Cognitive Psychology*, *18*, 355-387.
- Bock, K. and Griffin, Z. M. (2000). The persistence of structural priming: Transient activation or implicit learning? *Journal of Experimental Psychology: General*, *129*, 177-192.
- Chang, F., Dell, G. S., & Bock, K. (2006). Becoming syntactic. *Psychological Review*, *113*, 234-272.
- Christianson, K., Hollingworth, a, Halliwell, J. F., & Ferreira, F. (2001). Thematic roles assigned along the garden path linger. *Cognitive Psychology*, *42*, 368-407.
- Dawson, J. F. (2014). Moderation in management research: What, why, when, and how. *Journal of Business and Psychology*, *29*, 1-19.
- Fine, A. B., & Jaeger, T. F. (2013). Evidence for implicit learning in syntactic comprehension. *Cognitive Science*, *37*, 578-591.
- Fine, A. B., Jaeger, T. F., Farmer, T. a, & Qian, T. (2013). Rapid expectation adaptation during syntactic comprehension. *PLOS ONE*, *8*: e77661.doi:10.1371/journal.pone.0077661
- Garnsey, S. M., Pearlmutter, N. J., Myers, E., and Lotocky, M. a. (1997). The contributions of verb bias and plausibility to the comprehension of temporarily ambiguous sentences. *Journal of Memory and Language*, *37*, 58-93.
- Gelman, A. and Hill, J. (2007). *Data analysis using regression and multilevel/hierarchical models*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hale, J. (2001). A probabilistic Earley parser as a psycholinguistic model. In *Proceedings of the Second Meeting of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics* (pp. 159-166). Pittsburgh, USA: Association for Computational Linguistics.
- Hartsuiker, R. J., Bernolet, S., Schoonbaert, S., Speybroeck, S., and Vandereelst, D. (2008). Syntactic priming persists while the lexical boost decays: Evidence from written and spoken dialogue. *Journal of Memory and Language*, *58*, 214-238.
- Just, M. A., Carpenter, P. A., and Woolley, J. D. (1982). Paradigms and processes and in reading comprehension. *Journal of Experimental Psychology: General*, *3*,

228-238.

- Kaschak, M. P., & Glenberg, A. M. (2004). This construction needs learned. *Journal of Experimental Psychology: General*, *133*, 450-467.
- Levy, R. (2008). Expectation-based syntactic comprehension. *Cognition*, *106*, 1126-1177.
- MacDonald, M. C., Pearlmutter, N. J., and Seidenberg, M. S. (1994). The lexical nature of syntactic ambiguity resolution. *Psychological Review*, *101*, 676-703.
- McRae, K., Spivey-Knowlton, M. J., & Tanenhaus, M. K. (1998). Modeling the influence of thematic fit (and other constraints) in on-line sentence comprehension. *Journal of Memory and Language*, *38*, 283-312.
- Mitchell, D. C., Cuetos, F., Corley, M. M. B., and Brysbaert, M. (1995). Exposure-based models of human parsing: Evidence for the use of coarse-grained (nonlexical) statistical records. *Journal of Psycholinguistic Research*, *24*, 469-488.
- Norris, D., McQueen, J. M., and Cutler, A. (2003). Perceptual learning in speech. *Cognitive Psychology*, *47*, 204-238.
- Scheepers, C. (2003). Syntactic priming of relative clause attachments: persistence of structural configuration in sentence production. *Cognition*, *89*, 179-205.
- Thothathiri, M. and Snedeker, J. (2008). Syntactic priming during language comprehension in three- and four-year-old children. *Journal of Memory and Language*, *58*, 188-213.
- Trueswell, J. C., Tanenhaus, M. K., and Kello, C. (1993). Verb-specific constraints in sentence processing: separating effects of lexical preference from garden-paths. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *19*, 528-53.
- Wells, J. B., Christiansen, M. H., Race, D. S., Acheson, D. J., and MacDonald, M. C. (2009). Experience and sentence processing: statistical learning and relative clause comprehension. *Cognitive Psychology*, *58*, 250-271.