

マンエラーとコミュニケーション— 労働の科学, 44 (7), 4-7.  
尾入正哲・讀井純一郎・大倉元宏・越河六郎・香川正宏  
1990 地下空間の快適性向上手法に関する研究(2) 日本建築学会大会(中国) 学術講演梗概集D分冊(環境工学), 57-58.

尾入正哲・大倉元宏・越河六郎 1993 地下空間における環境の快適性向上手法について(1)—装飾物・疑似窓の心理的効果— 労働科学, 69(4), 133-144.  
蓮花一己・石橋富和・尾入正哲・太田博雄・恒成茂行・向井希宏 2002 高齢ドライバーのリスクテイキング行動研究報告書 国際交通安全学会.

## 電子通信技術と実験心理学 —映像と音声の伝送遅延の心理的影響を測定する—

望月 要<sup>\*,\*\*</sup>・大西 仁<sup>\*,\*\*</sup>

メディア教育開発センター\*・総合研究大学院大学\*\*

### Experimental psychology and the technology of telecommunication : Measuring the psychological effects of transmission delay in audiovisual communication

Kaname MOCHIZUKI and Hitoshi OHNISHI

*National Institute of Multimedia Education and The Graduate University of Advanced Studies*

This article briefly discusses the issues of measuring the psychological effects caused by transmission delay of the image and sound in audiovisual telecommunication. The authors propose two measuring methods which are based on verbal conditioning and implicit learning. These methods can effectively measure the effects of transmission delay as a decrement of behavioral performance of participant and have the advantage that they can detect the effect even when participants could not be aware of the change in their own performance.

**Key words:** audiovisual communication, transmission delay, verbal conditioning, implicit learning

#### 1. はじめに

大容量デジタル回線網の整備やパーソナル・コンピュータの普及,あるいは仮想現実感(virtual reality)のような技術の進歩により,我々の日常生活に様々な新しい通信手段や表示装置が入り込んできた.こうした技術を教育やその他の目的に応用し,システムの性能改善を行うには,その心理的効果を的確に把握する必要がある.

我々は現在まで,遠隔会議システムの画質が作業指示

に与える影響を行動面から評価する試み(望月・大西・田中,1998),遠隔地の間で空間的な共同作業を行う際に生じる,作業者の間の視点のずれが引き起こすコミュニケーション上の問題の指摘(大西・望月・鈴木・鈴木,1998;大西・望月・永岡,2000),仮想現実感で利用される全周没入型ディスプレイの視覚的效果,特に,いわゆる『臨場感』といわれる印象を定量的に測定する試み(望月・大西・永岡,1999;望月・大西・杉本・永岡,2001),通信システムの伝送遅延および音声と画像の時間的ずれがコミュニケーションに及ぼす影響の問題(望月・平賀・大西・結城,2002)などについて,実験心理学の知見と研究手法を応用した研究を行ってきた.本稿では,このうち,特に通信における伝送遅延が人間のコミュニケーションに与える影響を定量的に測定する試みについて紹介する.

\* National Institute of Multimedia Education, 2-12 Wakaba, Mihama-ku, Chiba, 261-0014

\*\* フォーラムでは望月が代表して講演したが,ここに報告するものは全て大西仁氏との共同研究の成果であり,本稿では共著とした.

電子通信機器で生じる伝送遅延は、次の3種類に分類できる。まず、伝送距離と伝播速度の関係で生じる遅延がある。例えば、電話の海外通話やテレビの国際中継、あるいは日本の大学間ネットワークであるSCS (Space Collaboration System) (近藤, 1996) では、赤道上空約36,000 kmにある人工衛星を介して電波を送受信している。この距離を電波が伝わるのに約250 msを要するために、衛星・地上局間の1往復で約500 msの遅延が生じる。この遅延は原理的に解消不可能であり、伝送距離が一定であれば、遅延は固定しているという性質がある。

次に圧縮符号化による遅延がある。現在主流になりつつあるデジタル通信では、音声や映像のアナログ信号をデジタル信号に変換し、さらに伝送情報量を減らすために圧縮符号化を行った上で信号を送出している。この圧縮符号化と、受信者側での復号化の処理に要する時間が遅延を生み出す。遅延時間は符号化方式により異なるが、その長さは一定である。ただし、音声より画像の方が処理に時間を要するため、そのままであれば、音声は画像よりわずかに先行して提示されることになる。音声に遅延を挿入して、両者を同期させる方法もあるが、この場合、音声については遅延が増大することになる。

さらに、伝送処理方式の特性によって生じる遅延がある。例えばインターネットでは、端末間で接続が確立した後でも、回線状態の変化に影響されて遅延時間が変化する。また、インターネットが採用するパケット伝送と呼ばれる方式では、連続した大きな情報を、パケットと呼ぶ小さな単位に分割して伝送している。そのため、伝送中に一部のパケットだけが壊れて届かなかったり、パケットの到着順序が逆転したりすることが起こり、これを修復する過程で不定長の遅延、つまり遅延の揺らぎが生まれることになる。

実際の通信、例えば遠隔会議システムなどでは、これら3種の原因のうちのいくつか、あるいはすべてが加算的に作用して、音声と映像の遅延、音声と映像の時間的ずれ、そしてその不定期な変動が生じている。

こうした伝送遅延が、円滑なコミュニケーションを妨害することは、通信工学においても早くから認識されており、主に通信・放送の品質評価の観点から研究されてきた。その研究の多くは、評定尺度法を利用して、遅延の絶対閾や許容限度、あるいは通信品質への総合的な印象を測定している。測定手法の詳細は、ITU-T (1996) のような形で標準化が行われ、さらに評定尺度法による測定結果を通信システムの物理的特性と対応づけ、人間による評価を機械に置き換えようとする試みも行われて

いる。

技術の発展により遅延量は著しく短縮されつつあるが、原理的に遅延を皆無にすることはできない。また意思疎通に支障をきたさない程度の小さな遅延であっても、それが複雑な心理的影響を利用者に与えている可能性がある。例えば、Reeves & Nass (1996) は、通信の過程で生じるわずかな映像と音声の時間的ずれが、対話相手の対人印象を低下させる可能性を指摘している。またテレビ会議システムを利用した討論などでしばしば指摘される『漠然とした違和感』や『話が盛り上がらない』といった問題の原因の一部も、こうした微妙な伝送遅延に起因している可能性がある。

このような背景をもとに、筆者らは、伝送遅延の心理的効果を定量的に測定する手法、それも利用者が意識化しにくい影響、あるいは意識化できないような微小な遅延の影響を行動として捉えることができるような測定方法の研究に取り組んでいる。現在までに言語条件づけを応用する方法と、潜在学習で用いられる人工文法課題を応用した方法について実験を進め、その有効性を確認しつつある。

## 2. 言語条件づけの応用

言語条件づけ (verbal conditioning) は Greenspoon (1955) と Taffel (1955) が初めて報告し、話者の特定の言語行動が、聞き手の頷きや同意などにより条件づけられる事例として注目された。これに続く多くの発展的研究により、討論や臨床診断のような自然な会話場面でも、この現象が生じることが確認され (言語条件づけ研究会, 1969 a; 1969 b), 多くの場合、話者は自身の言語行動の変容を意識化できないことが、意識と学習の関係を巡って議論を呼んだ (Levin, 1961)。

Rosenfeld らは、話者の意識性を確実に統制するために double-agent 法と呼ぶ方法により言語条件づけを行った (Rosenfeld & Baer, 1969)。参加者は、実験助手として実験を遂行するよう虚偽の依頼をされ、あらかじめ言語条件づけの講義を受け、それを利用して、話し相手の流暢な発音を増やすよう教示された。Rosenfeld & Baer (1970) では、参加者と話し相手はインターコムを通して会話するが、実際にはインターコム的一方にはテープレコーダーが接続されており、参加者が特定の言い回しを発したときだけ、流暢な発音を返し、それ以外の言い方には流暢ではない返事を返すようになっていた。すなわち参加者の特定の言語行動に対してのみ、流暢な発音を随伴提示したのである。この手続で175回程の『会話』を繰り返すと、特定の言い回しの回数は統計

的に有意に増加したが、参加者は、流暢な返事の回数を数え、それを増やすように工夫するよう教示されているにも関わらず、それが自分の特定の言い回しに関係していたことに最後まで気付かなかった。

言語条件づけが、同意や頷きなどの社会的強化子により制御される現象であるとするれば、強化に遅延が生じた場合、言語反応の自発頻度が低下するであろうことは、1次性強化子の遅延に関して行われた多数の研究結果から容易に予測することができる (Tarpy & Sawabini, 1974). 我々はこれを確認するために4名の参加者を用いて、テレビ会議システムを介した言語条件づけを試みた (望月・河野・山岸・大西, 1999; Mochizuki, Ohnishi, Kono, & Yamagishi, 1999).

実験では2つの部屋の間をビデオ回線で結び、これを介して2人の人間が連想ゲームを行った。実験方法は Rosenfeld & Baer (1970) の double-agent 法を用い、参加者には実験の本当の目的を秘し、実験の助手として、対話相手の「なるほど」という発言を増加させるように協力を求めた。参加者には知らせていないが、対話相手は実は実験者であり、強化期では、参加者がカタカナ語を連想したときにだけ、実験者は「なるほど」と応じた。

参加者の反応とは無関係に25%の確率で「なるほど」と発言したベースライン期に比べ、カタカナ語に対してだけ即座に「なるほど」を随伴提示した即時強化期では、4名中2名の参加者でわずかではあるがカタカナ語の自発頻度に増加が認められ、ビデオ回線に片道のみ2秒の遅延を挿入した遅延強化期にはカタカナ語の減少が認められた。Figure 1は、4名の参加者の、各条件下での平均カタカナ語自発数の推移を示している。実験中に記録させたメモと実験後インタビューによると、全参加者が、最後まで実際の強化随伴性に気付いていなかった。

強化対象としたカタカナ語の出現頻度は、同一条件中

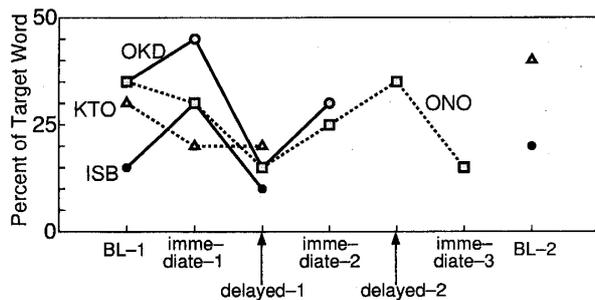


Figure 1. Mean relative frequency of the target behavior in each condition.

でも変動が大きく、個人差も大きかったため、この実験からだけでは、強化遅延の効果について明確な結論を述べることは難しい。また、ここで用いた2秒という遅延は、十分に大きな遅延である。さらに工学システムの性能評価という視点で見た場合、言語条件づけは、多数の試行が必要な上、個人差が大きいという問題点を有している。一方、次に述べる潜在学習を応用した方法に比べ、比較的自然的なコミュニケーション場面での測定が可能であることは大きな利点と言える。現在、筆者達は、言語条件づけに音声認識を応用し、実験の効率化と、各種の問題の克服を目指している。

### 3. 潜在学習の応用

潜在学習 (implicit learning) は、学習意識や意図がないにも関わらず、刺激の反復提示により、その構造が学習される現象で、系列反応時間課題、概念学習、相関学習、動的システムの制御課題、人工文法学習など、様々な課題について確認されている (Seeger, 1994). どの課題においても、規則に規定された現象を繰り返し経験することで、参加者はその規則を知っているかのように振る舞い、偶然以上の成績を示すが、規則そのものを明示することはできない (村越・松井, 1995). 我々はこの手続を一部変更して、伝送遅延の効果測定に利用することを試みている。

大西・平賀・望月・結城 (2002) の実験1では、32名の大学生を用いて、人工文法学習時のフィードバック遅延の効果を検討した。材料には Reber (1989) にならぬ Figure 2 に示すような有限状態機械により生成される文字列を利用した。生成される文字列から、3文字以上8文字以下のもの43個を選び、これを文法的な文字列と定義した。一方、同じ長さの生成された文字列の1文字以上を無作為に他の文字に変えて、この有限状態機械では生成し得ない文字列にしたものを非文法的な文字列と定義し、同じく43個を用意した。以上計86の文字列を、音声合成ソフトウェアで音声に変換して提示し、参

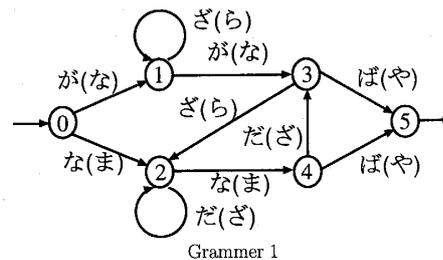


Figure 2. An example of artificial grammar (finite state automation) used in the experiment.

加者に2種類のカテゴリーに分類するように求めた。分類の正誤は、試行毎にフィードバックし、その遅延時間を0 ms から 600 ms まで段階的に変化させた。本来の潜在学習では、分類や正誤のフィードバックを行わないが、ここでは、遅延効果測定のためにこのように手続を変更している。

正答率がチャンスレベルより2標準偏差以上高くなることを暫定的な学習達成の基準として、遅延時間毎に基準達成者の比率を比較すると、第3セッションまでに、遅延無し条件では32.3%の参加者が基準に到達したのに対し、150 ms の遅延では25.0%となり、300 ms 以上になると、600 ms 条件での1人を除いて誰も基準に達しなかった。この結果は、人工文法学習課題を利用して300 ms 程度の比較的短い遅延の効果を、学習成績の低下として測定し得る可能性を示している。

#### 4. まとめと今後の展望

本稿では、映像・音声の伝送遅延が与える心理的影響を定量的に測定する方法として、言語条件づけと人工文法の学習を応用した2つの試みを紹介した。どちらの研究も着手したばかりの段階であるが、遅延の効果を行動として捉えられることが確認された。どちらの方法も、参加者自身が意識化できない遅延の効果、すなわち遅延により生じた自分の行動の変化を測定できるという点が特長であり、従来の評定尺度法と最も大きく異なる点である。言語条件づけと人工文法の学習は、現象としては類似しているが、測定手法として見ると、それぞれに特徴を備えている。人工文法学習では、参加者の誤答のしかたを分析することで、文法構造習得のどのような側面に、遅延が影響を及ぼすのかを明らかにできる可能性がある。一方、言語条件づけでは、自然な会話場面に近い状況での測定が可能である。

しかし、測定手法として今後解決すべき問題は山積している。標準化を強く求められる工学的測定手法としては、個人差は重大な問題であるし、個人内での再現性も確認していかなければなるまい。また、測定に多くの試行を要することは、測定効率の点で問題がある。既存の評定尺度法、あるいは機械的計測との対応関係も明らかにしなければならない。研究は端緒についたばかりである。

#### 引用文献

言語条件づけ研究会 1969 a 言語条件づけの諸研究(1)  
心理学研究, **39**, 266-277.  
言語条件づけ研究会 1969 b 言語条件づけの諸研究(2)

- 心理学研究, **39**, 319-334.  
Greenspoon, J. 1955 The reinforcing effect of two spoken sounds on the frequency of two responses. *American Journal of Psychology*, **68**, 409-416.  
ITU-T 1996 Interactive test methods for audiovisual communications, ITU-T Recommendation, P. 920.  
近藤喜美夫 1996 「スペースコラボレーションシステム」の構成, 電子情報通信学会技術研究報告 (ET96-43), 29-34.  
Levin, S. M. 1961 The effects of awareness on verbal conditioning. *Journal of Experimental Psychology*, **61**, 67-75.  
望月 要・平賀 健・大西 仁・結城皖曠 2002 潜在学習を利用した映像・音声の伝送遅延の心理的影響の測定(2): 音声刺激による人工文法学習におけるフィードバック遅延の効果 電子情報通信学会総合大会発表論文集, B-11-23.  
望月 要・河野友香・山岸直基・大西 仁 1999 言語条件づけにおける強化遅延の効果 日本行動分析学会第17回年次大会発表論文集, 84-85.  
Mochizuki, K., Ohnishi, H., Kono, Y., & Yamagishi, N. 1999 Applied behavior analysis for evaluating the telecommunications systems for distance education. In G. Cumming, T. Okamoto, & L. Gomez (Eds.) *Advanced research in computers and communications in education: New human abilities for the networked society*, **2**, Amsterdam: IOS Press. Pp. 862-863.  
望月 要・大西 仁・永岡慶三 1999 誘導運動に伴う重心動揺を利用した大型ディスプレイの視覚的效果測定の試み 電子情報通信学会総合大会講演論文集, B-11-1.  
望月 要・大西 仁・杉本裕二・永岡慶三 2001 重心動揺を指標としたサラウンドディスプレイの視覚的效果の測定 電子情報通信学会技術研究報告 (CQ2001-41), 15-21.  
望月 要・大西 仁・田中健二 1998 コンピュータ組み立て作業指導におけるSCS圧縮画質の行動的評価 電子情報通信学会論文誌 B-II, **J81-B-II**, 496-502.  
村越 真・松井孝雄 1995 潜在学習 認知科学, **2**, 12-23.  
大西 仁・平賀 健・望月 要・結城皖曠 2002 潜在学習を利用した映像・音声の伝送遅延の心理的影響の測定(1): 方法と理論的背景 電子情報通信学会総合大会発表論文集, B-11-22.  
大西 仁・望月 要・永岡慶三 2000 遠隔協調作業における視点の非共有の与える影響 電子情報通信学会論文誌, **J83-D-I**, 441-445.  
大西 仁・望月 要・鈴木龍太郎・鈴木健治 1998 空間型分散協調作業における視点共有の問題の空間認知的分析と作業支援一整理効果の観点の導入一 図学研究, **32**, 37-45.  
Reber, A. S. 1989 Implicit learning and tacit knowledge. *Journal of Experimental Psychology: General*, **118**, 219-235.

- Reeves, B., & Nass, C. 1996 *The media equation*, Cambridge, CA: Cambridge University Press.
- Rosenfeld, H. M., & Baer, D. M. 1969 Unnoticed verbal conditioning of an aware experimenter by a more. *Psychological Review*, **76**, 425-432.
- Rosenfeld, H. M., & Baer, D. M. 1970 Unbiased and unnoticed verbal conditioning: The double-agent robot procedure. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, **14**, 99-107.
- Seger, C. A. 1994 Implicit learning. *Psychological Bulletin*, **115**, 163-196.
- Taffel, C. 1955 Anxiety and the conditioning of verbal behavior. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, **51**, 496-501.
- Tarpy, R. M., & Sawabini, F. L. 1974 Reinforcement delay: A selective review of the last decade. *Psychological Bulletin*, **81**, 984-997.