

雑音・残響下における科学技術英語の学習教材の開発

程島奈緒 増田斐那子 安啓一 荒井隆行

上智大学理工学部 〒102-8554 東京都千代田区紀尾井町 7-1

E-mail: {n-hodosh, h-masuda, k-yasu, arai}@sophia.ac.jp

あらまし 日常的に音声を聴取する環境に近い状態で外国語を学習することは、リスニング能力の向上には実用的である。本稿では雑音・残響環境下において科学技術英語を学習する e-learning 教材を報告する。本教材の目的は、1) 科学技術英語を学習するための補助、2) 雑音・残響環境下での英語の聞き取りの改善である。本教材の評価として、理工学部にも所属する学生 34 名に対して、4 種類のバブルノイズと 2 種類の残響下で科学技術英語の単語了解度試験を行った。その結果、正解率は雑音・残響が付加されていない環境 (clean) に比べて雑音・残響下では大きく低下し、これまでの clean のみの言語学習では日常的に音声を聴取する環境には十分に対応することができない可能性が示された。一方で本教材は、雑音・残響下における非母語話者の音声明瞭度の改善に貢献できる可能性が示された。

キーワード 言語学習, 科学技術英語, 雑音, 残響, 非母語話者

Development of scientific English learning materials in noise and reverberation

Nao HODOSHIMA Hinako MASUDA Keiichi YASU and Takayuki ARAI

Faculty of Science and Engineering, Sophia University 7-1 Kioi-cho, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-8554 Japan

E-mail: {n-hodosh, h-masuda, k-yasu, arai}@sophia.ac.jp

Abstract It would be practical to improve listening skills of foreign languages by learning English in the environments that are close to our everyday listening situations. This paper reports an e-learning system which focuses on learning scientific English in noise and reverberation. The purposes of the e-learning system are 1) to help users to learn scientific English and 2) to improve English listening comprehension in our everyday listening condition. Thirty-four students in the Faculty of Science and Technology evaluated the system by word identification tests of scientific technical terms in four types of babble noise and two types of reverberation. Results of the listening tests showed that the correct rate in noisy or reverberant condition was lower than that without noise and reverberation. The results suggest that listening skill learned only in the condition without noise and reverberation would not hold true in our everyday listening situations. Our system instead suggests that it would help non-native listeners to improve speech intelligibility if foreign languages are learned in noise and reverberation.

Keyword Language learning, Scientific English, Noise, Reverberation, Non-native listeners

1. はじめに

私達は日常様々な環境で音声コミュニケーションを行っており、音声伝達は常に理想的な環境でなされるとは限らない。例えば教室、会議場、地下鉄のホームなどの公共空間では、聴き取る音声に雑音や残響が混入する。また電話音声では、受音側の音声の周波数帯域が制限される。一般的に雑音・残響下では、雑音・残響が付加されていない環境 (clean) よりも音声明瞭度が低下する [1, 2]。また、母語話者と非母語話者の音声知覚を比較すると、clean で両群の音声明瞭度が同程度であったとしても、雑音・残響下での音声明瞭度は非母語話者の方が母語話者よりも低下する [3]。このように、受聴環境や聴取者の言語背景によって、音声

の聴取に支障が生じることとなる。

多くの分野で国際化が進む中、専門分野における言語学習の需要は増加している。例えば上智大学理工学部・理工学研究科では、「現代的教育ニーズ取組支援プログラム」[4]によって、科学技術英語を講義やゼミを通じて学生が体系的に学習するプログラムが実施されている。本プログラムでは英語の読解力だけでなく、英語で論理的に考え、研究成果を英語で発表して議論する能力の向上も目指している。

リスニング能力の向上は、科学技術英語の学習にとって重要な要素の一部である。リスニングの学習方法としては近年 e-learning が多く取り入れられるようになってきている。e-learning は受講者の予定に合わせて

繰り返し学習することができる利点がある一方、聴取する音声や受聴環境が clean であることが多い。日常的に音声を聴取する環境である雑音・残響下では聴取する音声情報が劣化するため、学習によって clean で高いリスニング能力が得られたとしても、その能力が雑音・残響下でも同様に発揮されるかは不明である。

雑音下では、言語習熟度の高い非母語話者群ほど親密度の低い文章の正解率が高くなる[5]。このことから、言語習熟度の高い聴取者ほど、雑音によって音声情報が劣化する中でも文脈を予測しながら音声を聴取していることが示唆される。つまり、このような聴取者は、文脈情報などを駆使することで付加される雑音が増加しても、比較的音声明瞭度は低下しないと考えられる。

本稿では、雑音・残響環境下において科学技術英語を学習するための教材を報告する。本教材の目的は、1) 理工学系の学生が科学技術英語を学習するための補助、2) 日常的に音声を聴取する環境である、雑音・残響環境下での英語のリスニング能力の改善である。本教材の評価として、理工学部にも所属している学生 34 名に対して、雑音・残響下において本教材を使用した単語理解度試験を行った。

2. 学習教材

図 1 に本学習教材の作成方法を示す。教材のインタフェースは、双方向のオンライン教材制作ソフトウェアである Hot Potatoes [6]から単語の穴埋め問題を作成した。そのインタフェースをインターネット上で受講することができるように、e-learning システムである Moodle [7]にアップロードを行った。

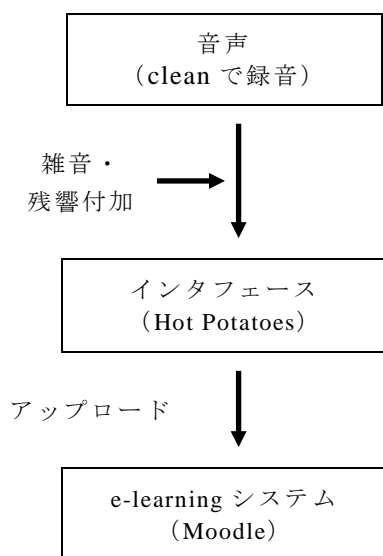


図 1 学習教材の作成方法

3. 評価実験

3.1. 目的

本教材の 1 つ目の目的は、科学技術英語を学習するための補助であるため、教材の文章は科学技術英語の教科書から使用した。教材は単語のリスニングとし、日常での音声知覚を模擬するため音声は自然な発話速度で録音した。また、どの程度単語が聴取できているかを確認するため、回答はタイピングとした。

本教材の 2 つ目の目的は、雑音・残響環境下での英語のリスニング能力の改善である。よって、実験では SNR (Signal to Noise Ratio) と残響時間が異なる数種類の雑音・残響条件を用い、そのパラメータは日常音声を聴取するレベルに近いものとした。先行研究[1-3]より、SNR が低下する・残響時間が長くなるほど単語の正解率が低下するという仮説を立てた。

結果の分析は 2 つの手法によって行った。手法 1 は通常正解率、手法 2 はスペルミスの回答も正解に含めた正解率である。手法 2 では、単語の発音に対して発音記号上、もしくは綴り上の挿入、脱落、置換を 1 文字程度まで認め正解とした。なお、接尾辞等のミスは正解に含まれない。表 1 に手法 2 では正解とされる回答の例を示す。本実験では回答をタイピングとしたため、手法 2 では、スペリングの影響を除いて聞き取りが正確に行えていたかを確認するものである。

先行研究[5]より、単語の正解率が高い参加者は、単語の正解率が低い参加者よりも、SNR の低下や残響時間が長くなるほど正解率の低下がゆるやかになると仮説を立てた。つまり、雑音・残響下においても単語の正解率が比較的高い参加者は、文脈情報をより利用することによって、付加される雑音・残響量が増えることによる明瞭度低下は少ないと考えられる。そこで、単語の正解率を上位のグループと下位のグループに分け、雑音・残響がそれぞれの参加者グループに与える影響を調べた。

3.2. 参加者

実験参加者は、大学の理工学部にも所属する日本語母語話者 34 名 (男性 27 名, 女性 7 名, 年齢 18-25 才) であった。参加者に対するアンケートの結果から、参加者の日常的な聴力に問題はないと判断された。

表 1 手法 2 で正解となる回答の例

正解	回答
environment	enviroment
dimensional	dimentional
normal	nomal

表 2 参加者の TOEIC の点数

点数	人数
800-899	1
700-799	0
600-699	3
500-599	6
400-499	2
300-399	2
不明	20

表 3 参加者の実用英語技能検定の級

級	人数
準 1	1
2	3
準 2	7
3	13
不明	10

表 2 と表 3 に TOEIC と実用英語技能検定（英検）を受験したことのある参加者の点数と級を示す。これまで海外に 1 年間以上滞在したことのある参加者は 3 名であった。

3.3. 原音声

実験で使用した文章は、英語で執筆された数学と物理の教科書[8-10]から、科学技術英語を含む文章 98 文である。この文章を、アメリカ英語を母語とする男性 1 名(年齢 66 才)に、標準的なアメリカ英語で、自然な発話速度で発話をしてもらった。音声は防音室にて、マイクロホン(SONY, ECM-23F5)とデジタルレコーダ (Marantz, PMD660)を介して録音を行った。本教材では様々な雑音・残響環境下における音声知覚を実現するため、原音声の録音は clean で行った。

3.4. 刺激

刺激は、図 1 に示すように clean で録音した原音声に雑音を付加、もしくはインパルス応答の畳み込みをした。その後、刺激の実効値を統一した。

雑音は、NOISEX[11]から話者数 100 のバブルノイズを使用し、SNR は 15, 10, 5, 0 dB とした。各 SNR に 10 文を割り当て、雑音が付加されていない(clean)音声 10 文と合わせて計 50 文を使用した。

インパルス応答は、東京都東大和市大ホールで録音されたインパルス応答の、中心周波数 500Hz, 1kHz, 2kHz における残響時間の平均が 0.4 s, 0.8 s となるような時間包絡を変化させたものを使用した。各残響時間に 16 文を割り当て、残響が付加されていない(clean)音声 16 文と合わせて計 48 文を使用した。

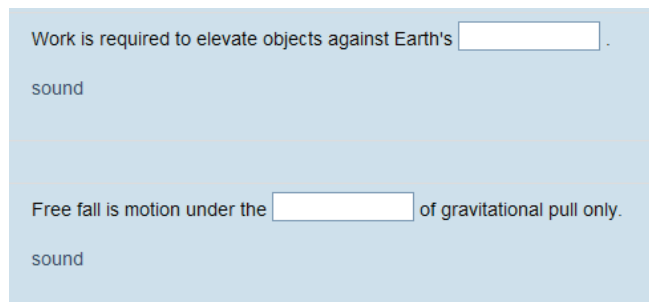


図 2 インタフェースの例

3.5. 実験手順

実験は言語学習を行う環境を想定し、CALL 教室にて複数の日程で行った。実験のインタフェースは、参加者が CALL 教室内のコンピュータからアクセスした Moodle 上に表示され、刺激はヘッドホン(ALSI, ALZW-90A)から提示された。

図 2 に実験で使用したインタフェースの一部を示す。実験の手順は、まず参加者が各問題文の下にある「sound」ボタンをクリックし、刺激を聴取した。次に参加者は刺激が提示されている間に一単語が空欄になっている問題文を読み、刺激提示後に空欄に回答をタイプした。参加者には各刺激は一度のみ聴取するよう指示を行った。

実験を行う前に、雑音・残響が付加されておらず、実験では用いていない 3 文を使用して練習を行った。提示音圧は練習中に各参加者に適したものに調整した。実験では、雑音条件 50 試行を先に行い、その後残響条件 48 試行を行った。雑音・残響が付加されていない音声は各雑音・残響の試行の最後に提示し、それ以外の音声は各雑音・残響の試行内でランダムな順番で提示した。練習、本番共に参加者にフィードバックは与えなかった。なお、雑音条件の実験には参加者 34 名全員が、雑音条件の実験には参加者 34 名中 21 名が参加した。

4. 結果

4.1. 雑音条件

図 3 に雑音下の手法 1 と手法 2 の参加者 21 名の正解率を示す。雑音 5 条件 (clean, SNR = 15, 10, 5, 0 dB) における手法 1・2 の正解率に対して繰り返しのある分散分析を行ったところ、正解率は SNR によって有意に変化することが確認された ($p < 0.001$)。

さらに Sidak による多重比較を行ったところ、手法 1 では clean と SNR = 0 dB, SNR = 10 dB と 5 dB, SNR = 10 dB と 0 dB の間に有意差がみられ ($p < 0.01$)、手法 2 では clean と SNR = 5 dB, clean と SNR = 0 dB, SNR = 15 dB と 5 dB, SNR = 15 dB と 0 dB, SNR = 10 dB と 5 dB の間に有意差がみられた ($p < 0.01$)。よって上記のペ

アのうち、SNRが高い条件の方が正解率は高いことが示された。

図4に雑音下の手法1の正解率を、上位11名・下位10名のグループに分けた結果を示す。雑音5条件(clean, SNR=15, 10, 5, 0 dB)における上位・下位グループの正解率に対して繰り返しのある分散分析を行ったところ、両手法共に正解率はSNRによって有意に変化することが確認された($p < 0.01$)。

さらにSidakによる多重比較を行ったところ、上位グループではcleanとSNR = 5 dBの間に有意差がみられ($p < 0.05$)、下位グループではcleanとSNR = 0 dB, SNR = 15 dBと10 dB, SNR = 10 dBと0 dBの間に有意差がみられた($p < 0.05$)。よって上記のペアのうち下位グループのSNR = 15 dBと10 dBのペア以外では、SNRが高い条件の方が正解率は高いことが示された。

4.2. 残響条件

図5に残響下の手法1と手法2の参加者34名の正解率を示す。残響3条件(clean, 残響時間 = 0.4 s, 0.8 s)における手法1・2の正解率に対して繰り返しのある分散分析を行ったところ、正解率は残響時間によ

て有意に変化することが確認された($p < 0.001$)。

さらにSidakによる多重比較を行ったところ、両手法ともcleanと残響時間 = 0.4 s, cleanと残響時間 = 0.8 sの間に有意差がみられ($p < 0.001$)、上記のペアのうち残響時間が短い条件の方が正解率は高いことが示された。

図6に残響条件での手法1の正解率を、上位16名・下位18名のグループに分けた結果を示す。残響3条件(clean, 残響時間 = 0.4 s, 0.8 s)における上位・下位グループの正解率に対して繰り返しのある分散分析を行ったところ、両手法ともに正解率は残響時間によって有意に変化することが確認された($p < 0.01$)。

さらにSidakによる多重比較を行ったところ、上位グループではcleanと残響時間 = 0.8 sの間に有意差がみられ、下位グループではcleanと残響時間 = 0.4 s, cleanと残響時間 = 0.8 sの間に有意差がみられた($p < 0.01$)。よって上記のペアのうち残響時間が短い条件の方が正解率は高いことが示された。

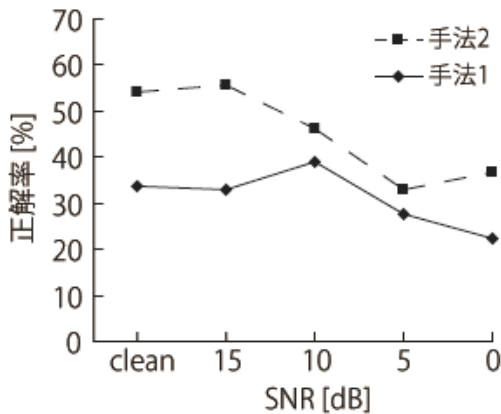


図3 雑音下の手法1・2の正解率

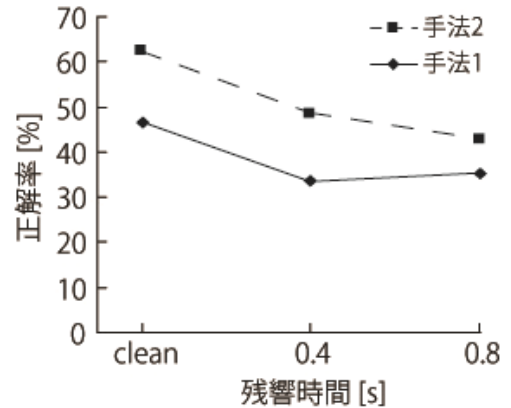


図5 残響下の手法1・2の正解率

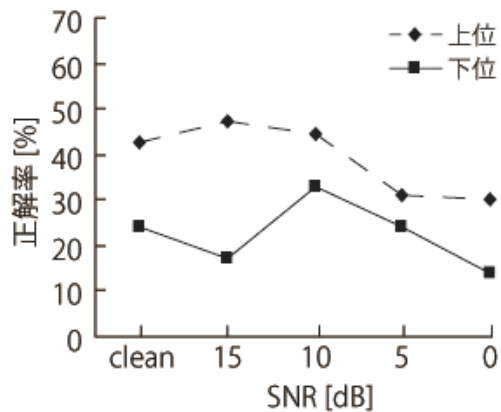


図4 雑音下の手法1における上位・下位グループの正解率

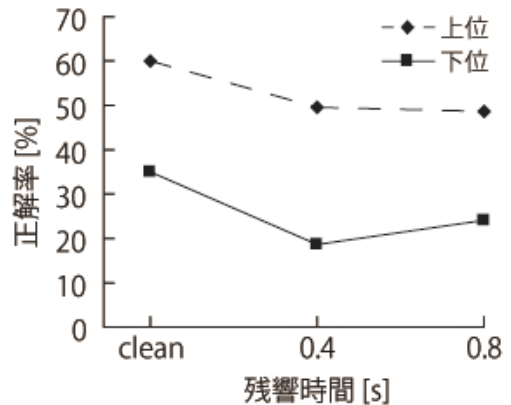


図6 残響下の手法1における上位・下位グループの正解率

5. 考察

実験結果から、手法1・2、上位・下位グループに関わらず、SNRや残響時間によって正解率が変化することが確認された。仮説通り、SNRの低下や残響時間が長くなると正解率は低下する傾向が確認された。

cleanと比較して、SNR = 5, 0 dBや残響時間 = 0.4, 0.8 sでは正解率が有意に低下したことからも仮説が支持された。このことから、単語理解度はcleanと雑音・残響下は同一ではなく、雑音・残響下の正解率はcleanの結果からだけでは予測することができないことが示された。本実験の参加者に対して、cleanと比べて正解率が低下したSNR = 5, 0 dBや残響時間 = 0.4, 0.8 s下でリスニングの学習を行うことで、今後雑音・残響下において正解率が上昇することが期待される。

雑音・残響下の正解率が低下する度合いは、参加者の言語習得度によって変化すると考えられる。例えばcleanと残響時間 = 0.4 sの正解率に差はみられるが、残響時間が0.4 sから0.8 sに長くなっても正解率は有意に低下しなかった。一方残響下で非母語話者の音声知覚を調査した先行研究[3]では、cleanと残響時間 = 0.4 sの正解率には差がみられないが、残響時間が0.4 sから0.8 sに長くなると正解率は有意に低下している。cleanの正解率は、本実験の参加者は先行研究[3]の参加者よりも低いことから、リスニング能力がより低い非母語話者はわずかな残響が付加されても明瞭度がより低下すると考えられる。

手法1・2を比較すると、正解率は全体的に雑音・残響条件共に手法2の方が手法1に比べて上昇し、SNRの低下や残響時間が長くなるとより正解率が低下する傾向があった。手法2はスペルミスの回答も正解に含めた正解率であることから、参加者の聴取能力をより正確に反映しているといえる。一方で総合的な言語学習を行うという観点では、学習者にスペルミスに対するフィードバックを与えることも今後は必要であるといえる。

上位・下位グループの正解率を比較すると、雑音・残響条件共に正解率は全体的に上位グループの方が下位グループよりも上昇した。SNRの低下や残響時間が長くなると上位グループの方が正解率の低下がゆるやかになることはなかったことから、仮説は棄却された。また、下位グループでは正解率がSNR = 10dBの方が15 dBよりも上昇し、予測とは逆の結果が得られた。これらの原因としては、グループの分類方法があげられる。参加者の英語の習得度を評価する客観的なデータが得られなかったため、参加者の分類は正解率で行ったが、この分類が参加者の純粋な英語の習得度には対応していない可能性が考えられる。その他の原因としては、各雑音・残響条件に異なる文章を割り当てて

いるため、特定の条件に親密度の低い単語や文脈から予測しにくい単語が集中した可能性が考えられる。

6. おわりに

本稿では、雑音・残響環境下で科学技術英語を学習するための教材を報告した。本教材の評価として、理工学部の学生に対して、雑音・残響下において本教材を使用した単語理解度試験を行った。

実験結果から、SNRの低下や残響時間が長くなると単語の正解率は低下する傾向が確認された。また単語理解度はcleanに比べ雑音・残響下では低下し、cleanのみの言語学習では日常的に音声を聴取する環境には十分に対応することができない可能性が示された。一方で、SNRの低下や残響時間が長くなると、正解率の高い参加者は文脈を予測するなどして音声知覚の補償を行っていることは確認されなかった。

今後は、本教材を使用することで雑音・残響下での音声知覚が学習によってどの程度向上するかを調査したい。また、複数の話者や雑音・残響の種類を使用したり、利用者の英語の習得度に合わせた単語の親密度や発話速度の調整を行ったりと、より柔軟な教材の作成を行いたい。

7. 謝辞

本研究の一部は、私立大学学術研究高度化推進事業上智大学オープン・リサーチ・センター「人間情報科学研究プロジェクト」、上智大学理工学部「現代的教育ニーズ取組支援プログラム」の助成を受けて行われた。教材作成の補助と聴取実験をして下さった上智大学の三輪田晃寿さん、柳貴之さん、実験に参加して下さい下さった方々に感謝します。

文 献

- [1] M. L. G. Lecumberri and M. Cooke, "Effect of masker type on native and non-native consonant perception in noise," *J. Acoust. Soc. Am.*, 119(4), 2445-2454, 2006.
- [2] A. K. Nabelek and P. K. Robinson, "Monaural and binaural speech perception in reverberation for listeners of various ages," *J. Acoust. Soc. Am.*, 71(4), 1242-1248, 1982.
- [3] A. K. Nabelek and A. M. Donahue, "Perception of consonants in reverberation by native and non-native listeners," *J. Acoust. Soc. Am.*, 75(2), 632-634, 1984.
- [4] Sophia University ESE Promotion Committee sponsored by "The Support Program for Contemporary Education Needs" of the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, 2005-2008.
- [5] L. H. Mayo, M. Florentine, and S. Buus, "Age of second-language acquisition and perception of speech in noise," *J. Speech. Lang. Hear. Res.*, 40,

686-693, 1997.

- [6] Hot Potatoes (Version 6.2), Stewart Arneil and Martin Holmes, Half-Baked Software Inc., University of Victoria Humanities Computing and Media Centre., 1997-2009.
<http://web.uvic.ca/hrd/halfbaked/>
- [7] Moodle, Free Software Foundation Inc., 1991.
<http://moodle.org/>
- [8] P. A. Forester, Calculus Concepts and Applications, Key Curriculum Press, California, 2005.
- [9] P. G. Hewitt, Conceptual Physics, Addison Wesley, Florida, 2005.
- [10] J. Trefil, Waves, Sound, and Light, McDougal Littell, Washington D.C., 2007.
- [11] A. Varga and H. J. M. Steeneken, "Assessment for automatic speech recognition II: NOISEX-92: a database and an experiment to study the effect of additive noise on speech recognition systems," *Speech Communication*, 12(3), 247–251, 1993.