

外国語学習者が発音・聞き取りを苦手とする音素列の抽出手法の検討

上村 航平[†] 鷹野 孝典[‡]

[†] 神奈川工科大学大学院工学研究科情報工学専攻 〒243-0292 神奈川県厚木市下荻野 1030

[‡] 神奈川工科大学情報学部情報工学科 〒243-0292 神奈川県厚木市下荻野 1030

E-mail: [†] s1885010@cco.kanagawa-it.ac.jp [‡] takano@ic.kanagawa-it.ac.jp

あらまし 本稿では、外国語学習において、学習者が発音・聞き取りを苦手とする音素列の抽出手法の検討について述べる。既存の手法では、音声認識の技術を用いて発音時に間違えた音素を、学習者に指摘するものなどがある。しかし、これらの手法では単一の音素の誤りについての指摘をするが、直前の音素に起因して正しく発音や聞き取りができない場合の分析結果を提供するものではない。提案手法は、学習者の苦手な音素（発音誤り音素）を、単一ではなくその前後の音素の **n-gram** 個の列として抽出する点に特徴がある。本研究では、提案手法を適用したプロトタイプを用いた実験により、提案手法の実現可能性を検証する。

キーワード 外国語学習, 音素, 発音誤り, 発音学習

A Method for Extracting Phoneme Sequences of Lerner's Pronunciation and Listening Errors for Language Learning

Abstract This paper presents a method for extracting phoneme sequences that a learner is likely to make a mistake in pronunciation and listening in foreign language learning. Some conventional methods show learner's phoneme errors using the speech recognition technology. Those systems simply show one error phoneme alone that the learner made, but no analytical results of phoneme errors that arose from the former and latter phoneme sequences. The feature of the proposed method is to extract phonemes that a learner is likely to make an error in pronunciation as n-gram sequence, not a single phoneme. we confirm the feasibility of our method by several experiments using a prototype of our learning system.

Keyword Foreign language learning, phoneme, pronunciation error, pronunciation learning

1. はじめに

グローバル化の進展とともに、外国人との日常におけるコミュニケーションの機会がますます増加している。また、商用の打ち合わせや学術会議においても、対面や音声を用いたコミュニケーション（以下、ボイスコミュニケーション）が重要視されるなど、母国語以外の言語を用いたコミュニケーション能力の習得が求められている。

ボイスコミュニケーション能力では、外国語の聞き取りと発話を正確に行うことが極めて重要である。しかし、例えば日本人の場合、母国語である日本語と英語の言語的違いにより、聞き取りや発音が苦手な英単語や文章が存在する。外国語学習において、苦手な聞き取りや発音を克服するために、様々な学習方法やツールが提案・開発されている。例えば、学習履歴から聞き取りや発音を誤った単語を繰り返し学習する方法、発音と口の動かし方を丁寧に理解させる方法、機械学習アルゴリズムを用いて発話者の発音誤りを音素単位で抽出する学習ツールなどが挙げられる。

しかし我々は、言語における発音誤りの要因は、あ

る一音素についての発音の仕方を知らないことだけではなく、その前後の音素との組み合わせが関係していると考えた。例えば、「row」と「raw」では、[r]の発音を誤った場合、既存手法でもこの誤りを抽出することは可能である。しかし[r]の後に続く音素が[a]か[o]によって発音は異なる。この場合、[r]単体ではなく、[ro]や[ra]の単位で苦手な音素列を抽出するのが適切である。同様に、「abort」と「acerb」を例にとると、例えば[r]単体を正しく発音できる場合でも、[erb]や[ort]のように、前後の音素に起因することにより、「abort」と「acerb」の発音における[r]を正しく発音できなくなってしまう可能性も考えられる。既存の発音誤り検出手法では、そのような前後の音素列に起因した分析はなされていない。

本研究では、学習者が発話を苦手とする音素列を抽出する手法を提案する。本手法の特徴は、学習者の苦手な音素（発音誤り音素）を単一ではなくその前後の音素を **n-gram** として抽出し、**n-gram** 単位でスコア付けを行う点にある。これにより、単一の苦手な音素だけでなく、音素の組み合わせに着目することによる、

学習者毎の発音の苦手な単語/文章を抽出することが可能となる．また音素列毎のスコアを算出することによって，学習者が発話経験のある単語だけでなく，発話未経験の単語についても，そのスコアに基づいてランキング付けを行うことが可能となる．これにより，学習者毎に潜在的に存在する苦手単語を推定し，学習者へ提示する学習ツールへの応用も期待できる．

本研究では，日本人を被験者とし英語を対象とした実験にて， n -gram 単位で抽出した音素列毎のスコア付けとそれを用いた単語毎のランキングを算出することにより，提案手法の実現可能性を検証する．

2. 関連研究と研究動機

小野寺は，英語リスニング能力を高める方法として，発音記号と音読に着目し，発音記号の認知と音読の実践が英語のスピーキングのみならず，英語リスニング能力の向上にも効果があることを明らかにした[1]．藤本は，聞いた英語の理解と読む英語の知識が一致しない学習者が多いことに着目し，日本人のような第二言語として英語を学ぶ学習者にとって，音声言語情報と書記言語情報をつなぐ音韻知識がリスニングに与える影響を検証している[2]．Ahmad はアラブ人英語学習者を例にとり，EFL 学習者，特にアラブ人や日本人のように通常の語学学習カリキュラムでは，発音以外が中心であった学習者にとって，CAPT (Computer Assisted Pronunciation Teaching) を用いた学習及びそのフィードバックが，発話指導に適していることを示した[5]．

日本人による英語発音評価に関する研究として，河合らは，日本語ネイティブ話者による発話音声コーパスと英語ネイティブ話者による発話音声コーパスの2つを学習し，発話音声誤りの認識時に尤度最大となる音素を選択することで，発音誤りの判定を実現している[4]．吉田らは，日本人による英語歌唱音声の自動発音評価を目指し，英語/日本語それぞれの話者によるス卷評価実験から，歌唱音声では発話音声と比較して伸ばすフレーズに発音誤りが生じやすいことを示唆した[3]．また河合ら[4]の手法を元に，日米2言語のネイティブ話者による発話音声から学習した HMM を用いた歌唱音声の発音誤り判定実験から，歌唱音声における発音誤りの検出精度向上への可能性を示唆した．

これらに対し，本研究では学習者が発話を苦手とする音素を，その前後 n 個分の音素列の組み合わせとしてスコア付けを行う点に特徴がある．また，提案手法は，発音が苦手である，あるいは苦手と判断される単語の発音練習ツールに適用可能である．国際会議などの発表機会において，英語に不慣れな発表者は，事前に，原稿にある文章の単語の発音記号等を調べ，発話学習を行っていると考えられる．しかし，発話学習が必要な単語数は，英語学の習熟度や原稿の量などによ

って増減するため，学習の効率は高くはなりづらく，学習者の学習意欲の維持も困難である．結果，偏った半端な発音学習が行われ，発音が未熟な部分の内容が伝わりづらくなってしまいうことも考えられる．提案手法により，3.2 節図 2 に示すように，英文原稿で音が苦手である，あるいは苦手と判断される単語をマーキングし，発音練習を重点的に実施することができる．

3. 提案手法

3.1. 概要

本研究では学習者の発話音声から，発話を苦手とする音素を抽出する手法を提案する．以下の図 1 に提案手法の概要を示す．

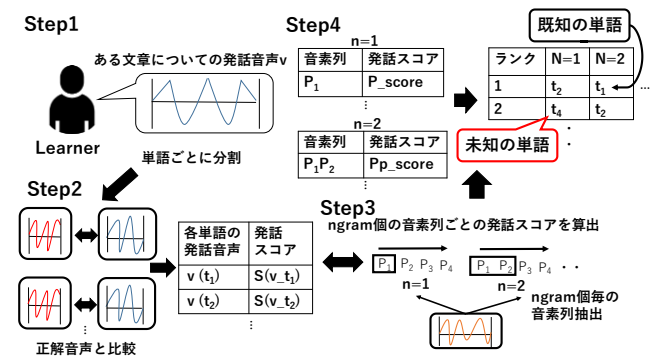


図 1 提案手法の概要

提案手法の特徴は，学習者が実際に発話を誤った単一の音素ではなく，その前後の音素の n -gram 個の列として抽出する点にある．これにより単一の発音誤りだけでなく，その前後の音素に起因した発音誤りの分析が可能となる．以下に，提案手法の手順を示す．

Step-1: 発話音声の抽出

n 個の単語 $t_1, t_2, \dots, t_n$ が含まれる文章 s_i を発話した場合：学習者 u の発話音声 v_u において，各単語の発話音声 $v_u(t_1), v_u(t_2), \dots, v_u(t_n)$ を抽出する．ここで，単語 t_x の発音記号(音素)の列を $P(t_x) = \{p_{x,1}, p_{x,2}, \dots, p_{x,m}\}$ とする．

Step-2: 単語に対する発話スコアの算出

$v_u(t_x)$ の正解音声と比較することにより発話スコア $s(t_x)$ を，類似度計量手法を用いて算出する．

Step-3: 音素に対する発話スコアの算出

単語 t_x の発話記号の列について n -gram 抽出 ($n=1, 2, \dots, m$) を行う．

$$ngram(P(t_x), n) = \{ng_1, ng_2, \dots, ng_l\}$$

$$ng_k = \{p_{x,k}, p_{x,k+1}, \dots, p_{x,k+m-1}\}$$

各 n -gram 音素列 ng_k の発話スコア $s(t_x, ng_k)$ を下記の

2つの方法で算出する．

- (1) 間違えた音素を含む n -gram 音素列 ng_k を抽出し，発話スコア $s(t_x)$ を割り当てる．
- (2) 全ての n -gram 音素列 ng_k に対して等しく発話スコア $s(t_x)$ を割り当てる．

Step-4: 単語のランキング

これまでに発話した単語列 $T = \{t_1, t_2, \dots, t_q\}$ に対して，Step-3 で n -gram 単位で算出した音素列集合 $PS = \{ps_1, ps_2, \dots, ps_l\}$ を抽出し，各音素列 ps_x に対する発話スコアを算出する．ここで， N は素列 ps_x の出現頻度である．

$$s(ps_x) = \sum_{t_k \in T} s(t_k, ps_x) / N$$

さらに，単語 t_i から抽出される音素列集合を PS_j とすると，各単語 t_i の発話スコアを下記のように算出する．ここで， M は音素列集合 PS_j の要素数である．

$$s(t_i) = \sum_{ps_x \in PS_j} s(ps_x) / M$$

単語 t_i は発話スコア $s(t_i)$ に基づいて，ランキングされユーザに提示される．

3.2. 提案手法を用いた学習ツールの設計

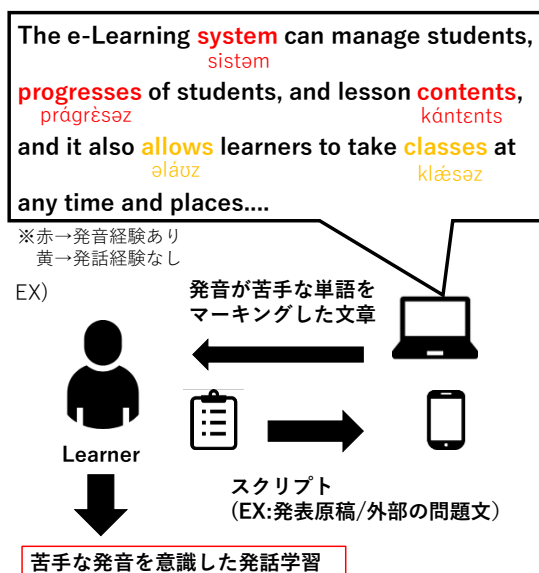


図 2 提案方式を適用した発音学習ツール

提案手法を適用した発音学習ツールの設計について述べる．図 2 に提案手法を適用した発音学習ツールの概要図を示す．

提案手法により，学習者の各 n -gram 音素列毎における発話スコアが算出される．提案手法を適用した発音

学習ツールは，この発話スコアに基づき，学習者が今後，国際会議などの発表にて発話する原稿などの文章から，発音が苦手な単語をマーキングした文章を生成し，学習者に提供する．発話学習ツールは，以下の 3 つの機能を備えている．

(1) 発話スコアの算出機能

本章 1 節の提案手法に基づき，学習者毎に算出した n -gram 音素列毎の発話スコアから，入力された文章に含まれる単語毎に，発話スコアを算出する．

(2) 発音が苦手な単語のマーキング機能

学習者が今後発話する可能性のある文章をインプットとし，(1)にて算出された発話スコアに基づき，学習者が発音を苦手とする，あるいは苦手であると判断される単語に，マーキング付けを行う．これにより，学習者は自身の苦手とする単語，すなわち優先して発話学習を行うべき単語を認識し，それらを重点的に学習することが可能となる．

(3) 苦手単語の発音記号表示機能

(2)の機能を用いてマーキングされた単語の発音記号を，別途構築した発音記号 DB から取得し，発音が苦手な単語をマーキングした文章と共に表示する．これにより，学習者は自身の苦手な単語を認識するだけでなく，マーキングされた単語とその発音記号を参照しながら発話学習を行うことが可能となる．

4. 実験

提案手法により，発話単語をスコア付けし， n -gram 単位で抽出した音素列をランキングすることにより，発話が苦手とする音素列および単語が抽出可能であることを確認する．

4.1. 実験環境

表 1 に日本人被験者 5 名の情報を示す．表 2 に被験者が発話する単語群の一覧を示す．被験者 5 名に表 2 に示す各英単語を 3 回ずつ発話してもらい，1 単語当たり 15 個の音声データを録音した．実験では，これらの音声データを評価に用いる．

表 1 被験者情報

被験者 ID	性別	所属	英語能力
A	男性	大学院生	初級
B	男性	大学院生	初級
C	男性	大学院生	初級
D	男性	大学生	初級
E	女性	大学生	初級

表 2 被験者が発話する英単語

単語 ID	英単語	音素数	文字数	音源数
1	account	6	7	15
2	aim	3	3	15
3	appear	7	6	15
4	area	5	4	15
5	carry	4	5	15
6	change	6	6	15
7	fully	5	5	15
8	hear	3	4	15
9	install	6	7	15
10	public	6	6	15

4.2. 実験方法

正解音声には文献[10]の音声サンプルを使用する。発話音声、正解音声共に、前処理としてサンプリングレートを 44100Hz へと変換し、無音部分の削除を行う。類似度の算出は、任意の 2 つの時系列データ間の類似度を算出する手法として、また音声間の類似度を算出す基礎的な手法としても用いられている DTW (Dynamic Time Warping) を使用する。

被験者の発話音声と正解音声との類似度を算出し、提案手法に基づいて n-gram 音素列毎に発話スコアを算出する。発話スコアの算出は、3.1 節 Setp-3 の(2)の方法を用いて行う。本実験では、1 単語あたり 3 回発話してもらうため、各発話音声について算出した 3 つの DTW 距離の平均値を類似度として用いる。算出された n-gram 音素列毎の発話スコアに基づき、文献[10]に収録されている英単語についてランキングを行う。被験者毎の英単語ランキング結果を考察し、提案手法の実現可能性を検証する。

4.3. 実験結果

表 3~14 に、各被験者の、n-gram 音素列 ($n=1\sim4$) 毎に算出した発話スコアのうち上位 10 件を示す。また、表 15~26 に、各 n-gram 音素列の発話スコアに基づいた英単語のランキング結果のうち上位 10 件を示す。下線が引かれた単語は、本実験において被験者が発話した英単語であり、それ以外は発話していない英単語であることを示している。抽出された n-gram 音素列の総数は、 $n=1$ のとき 24 個、 $n=2$ のとき 33 個、 $n=3$ のとき 27 個、 $n=4$ のとき 17 個であった。

表 3 1-gram 音素毎の発話スコア(被験者 A,B)

順位	A		B	
	音素列	スコア	音素列	スコア
1	æ	101.0	s	169.9
2	a	99.5	ɔ:	169.9
3	u	99.5	f	140.0
4	ə	94.5	ʊ	140.0
5	r	93.2	n	125.0
6	k	84.8	t	125.0
7	f	82.8	l	116.8
8	ʊ	82.8	æ	110.6
9	s	74.3	i	110.3
10	ɔ:	74.3	r	107.3

表 4 1-gram 音素毎の発話スコア(被験者 C,D)

順位	C		D	
	音素列	スコア	音素列	スコア
1	ʌ	268.0	s	117.2
2	b	268.0	ɔ:	117.2
3	h	192.1	n	93.0
4	l	190.9	t	93.0
5	ɪ	186.6	a	92.5
6	æ	176.2	u	92.5
7	k	164.8	ə	89.2
8	i	160.7	m	88.1
9	p	155.6	æ	81.3
10	a	153.5	r	79.3

表 5 1-gram 音素毎の発話スコア(被験者 E)

順位	音素列	スコア
1	s	212.3
2	ɔ:	212.3
3	ʃ	191.5
4	dʒ	191.5
5	f	172.3
6	ʊ	172.3
7	l	169.7
8	n	165.4
9	t	165.4
10	ɪ	162.5

表 6 2-gram 音素列毎の発話スコア(被験者 A,B)

順位	A		B	
	音素列	スコア	音素列	スコア
1	er	215.4	ns	339.9
2	iə	215.4	st	339.9
3	ri	208.7	tɔ:	339.9
4	kæ	202.1	ɔ:l	339.9
5	ær	202.1	fʊ	280.1
6	ək	198.9	ʊl	280.1
7	ka	198.9	li	280.1
8	au	198.9	er	274.1
9	un	198.9	iə	274.1
10	nt	198.9	ɪn	256.3

表 7 2-gram 音素列毎の発話スコア(被験者 C,D)

順位	C		D	
	音素列	スコア	音素列	スコア
1	pʌ	536.0	ns	234.4
2	ʌb	536.0	st	234.4
3	bl	536.0	tə:	234.4
4	lɪ	536.0	ɔ:l	234.4
5	hi	384.1	er	219.1
6	kæ	352.3	iə	219.1
7	ær	352.3	ri	190.9
8	ri	327.1	ək	185.1
9	ka	306.9	ka	185.1
10	au	306.9	au	185.1

表 8 2-gram 音素列毎の発話スコア(被験者 E)

順位	音素列	スコア
1	ns	424.5
2	st	424.5
3	tə:	424.5
4	ɔ:l	424.5
5	in	403.8
6	tʃ	383.1
7	ʃe	383.1
8	ndʒ	383.1
9	fə	344.5
10	ʊl	344.5

表 9 3-gram 音素列毎の発話スコア(被験者 A,B)

順位	A		B	
	音素列	スコア	音素列	スコア
1	eri	323.1	ins	509.8
2	riə	323.1	nst	509.8
3	kær	303.1	stə:	509.8
4	æri	303.1	tə:l	509.8
5	əka	298.4	fəl	420.1
6	kau	298.4	ʊli	420.1
7	aun	298.4	eri	411.1
8	unt	298.4	riə	411.1
9	fəl	248.5	kær	331.9
10	ʊli	248.5	æri	331.9

表 10 3-gram 音素列毎の発話スコア(被験者 C,D)

順位	C		D	
	音素列	スコア	音素列	スコア
1	pʌb	804.1	ins	351.5
2	ʌbl	804.1	nst	351.5
3	blɪ	804.1	stə:	351.5
4	hiə	576.2	tə:l	351.5
5	kær	528.5	eri	328.6
6	æri	528.5	riə	328.6
7	kau	460.4	əka	277.6
8	aun	460.4	kau	277.6
9	unt	460.4	aun	277.6
10	əka	460.4	unt	277.6

表 11 3-gram 音素列の発話スコア(被験者 E)

順位	音素列	スコア
1	ins	636.8
2	nst	636.8
3	stə:	636.8
4	tə:l	636.8
5	tʃe	574.6
6	ʃeɪ	574.6
7	eɪn	574.6
8	ɪndʒ	574.6
9	fəl	516.8
10	ʊli	516.8

表 12 4-gram 音素列の発話スコア(被験者 A,B)

順位	A		B	
	音素列	スコア	音素列	スコア
1	eriə	430.8	inst	679.7
2	kæri	404.1	nstə:	679.7
3	əkau	397.8	stə:l	679.7
4	kaun	397.8	fəli	560.2
5	aunt	397.8	eriə	548.2
6	fəli	331.3	kæri	442.5
7	inst	297.0	tʃeɪ	345.4
8	nstə:	297.0	ʃeɪn	345.4
9	stə:l	297.0	eɪndʒ	345.4
10	pʌbl	277.8	pʌbl	314.3

表 13 4-gram 音素列の発話スコア(被験者 C,D)

順位	C		D	
	音素列	スコア	音素列	スコア
1	pʌbl	1072.1	inst	468.7
2	ʌblɪ	1072.1	nstə:	468.7
3	kæri	704.6	stə:l	468.7
4	kaun	613.8	eriə	438.2
5	aunt	613.8	əkau	370.1
6	əkau	613.8	kaun	370.1
7	eriə	603.9	aunt	370.1
8	fəli	488.6	kæri	325.3
9	inst	421.7	fəli	293.8
10	nstə:	421.7	tʃeɪ	180.2

表 14 4-gram 音素列の発話スコア(被験者 E)

順位	音素列	スコア
1	inst	849.0
2	nstə:	849.0
3	stə:l	849.0
4	tʃeɪ	766.1
5	ʃeɪn	766.1
6	eɪndʒ	766.1
7	fəli	689.0
8	pʌbl	588.8
9	ʌblɪ	588.8
10	blɪk	588.8

表 15 1-gram 音素列の発話スコアに基づいた
単語ランキング(被験者 A,B)

順位	A		B	
	単語	スコア	単語	スコア
1	primary	127.0	satisfy	237.3
2	regret	126.5	experience	235.9
3	electrical	125.1	recently	234.1
4	experience	124.7	necessary	228.8
5	satisfy	121.2	distance	227.5
6	necessary	119.6	consist	226.9
7	order	118.0	access	219.3
8	recently	117.9	express	217.7
9	access	117.9	process	217.2
10	contact	117.7	expensive	213.0

表 16 1-gram 音素列の発話スコアに基づいた
単語ランキング(被験者 C,D)

順位	C		D	
	単語	スコア	単語	スコア
1	probably	351.6	experience	160.2
2	electrical	292.5	necessary	159.4
3	available	275.3	satisfy	159.3
4	divide	263.3	recently	156.7
5	local	262.6	distance	155.7
6	design	253.0	consist	154.7
7	immediately	250.7	access	154.0
8	double	248.7	process	150.9
9	public	245.6	express	149.9
10	enable	242.3	expense	145.5

表 17 1-gram 音素列の発話スコアに基づいた
単語ランキング(被験者 E)

順位	単語	スコア
1	satisfy	290.8
2	recently	287.9
3	consist	277.8
4	expensive	276.8
5	distance	276.3
6	expense	273.1
7	experience	272.6
8	necessary	266.6
9	express	259.7
10	process	258.7

表 18 2-gram 音素列の発話スコアに基づいた
単語ランキング(被験者 A,B)

順位	A		B	
	単語	スコア	単語	スコア
1	appointment	262.0	maintain	359.0
2	maintain	218.3	adjust	339.9
3	area	213.7	advanced	339.9
4	material	212.1	alternative	339.9
5	necessary	212.1	concerned	339.9
6	previous	212.1	conference	339.9
7	agree	208.7	consider	339.9
8	anniversary	208.7	consist	339.9
9	average	208.7	construction	339.9
10	brief	208.7	convenience	339.9

表 19 2-gram 音素列の発話スコアに基づいた
単語ランキング(被験者 C,D)

順位	C		D	
	単語	スコア	単語	スコア
1	comfortable	536.0	maintain	275.1
2	double	536.0	adjust	234.4
3	public	536.0	advanced	234.4
4	publish	536.0	alternative	234.4
5	establish	454.7	concerned	234.4
6	reasonable	431.6	conference	234.4
7	accomplished	421.5	consider	234.4
8	assembly	390.2	consist	234.4
9	probably	390.2	construction	234.4
10	considerable	373.5	convenience	234.4

表 20 2-gram 音素列の発話スコアに基づいた
単語ランキング(被験者 E)

順位	単語	スコア
1	maintain	569.9
2	adjust	424.5
3	advanced	424.5
4	alternative	424.5
5	concerned	424.5
6	conference	424.5
7	consider	424.5
8	consist	424.5
9	construction	424.5
10	convenience	424.5

表 21 3-gram 音素列の発話スコアに基づいた
単語ランキング(被験者 A,B)

順位	A		B	
	単語	スコア	単語	スコア
1	appropriate	323.1	maintain	518.2
2	area	323.1	advanced	509.8
3	experience	323.1	construction	509.8
4	material	323.1	demonstrate	509.8
5	necessary	323.1	inspire	509.8
6	orientation	323.1	install	509.8
7	primary	323.1	instruct	509.8
8	carry	303.1	fully	420.1
9	account	298.4	appropriate	411.1
10	maintain	278.4	area	411.1

表 22 3-gram 音素列の発話スコアに基づいた
単語ランキング(被験者 C,D)

順位	C		D	
	単語	スコア	単語	スコア
1	double	804.1	advanced	351.5
2	establish	804.1	construction	351.5
3	public	804.1	demonstrate	351.5
4	publish	804.1	inspire	351.5
5	hear	576.2	install	351.5
6	carry	528.5	instruct	351.5
7	maintain	506.8	appropriate	328.6
8	account	460.4	area	328.6
9	appropriate	452.9	experience	328.6
10	area	452.9	material	328.6

表 23 3-gram 音素列の発話スコアに基づいた
単語ランキング(被験者 E)

順位	単語	スコア
1	maintain	1149.2
2	advanced	636.8
3	construction	636.8
4	demonstrate	636.8
5	inspire	636.8
6	install	636.8
7	instruct	636.8
8	airplane	574.6
9	arrange	574.6
10	campaign	574.6

表 24 4-gram 音素列の発話スコアに基づいた
単語ランキング(被験者 A,B)

順位	A		B	
	単語	スコア	単語	スコア
1	area	430.8	install	679.7
2	carry	404.1	instruct	679.7
3	fully	331.3	fully	560.2
4	install	297.0	area	548.2
5	instruct	297.0	carry	442.5
6	public	277.8	arrange	345.4
7	publish	277.8	change	345.4
8	appear	252.4	exchange	345.4
9	arrange	185.6	public	314.3
10	change	185.6	publish	314.3

表 25 4-gram 音素列の発話スコアに基づいた
単語ランキング(被験者 C,D)

順位	C		D	
	単語	スコア	単語	スコア
1	public	1072.1	install	468.7
2	publish	1072.1	instruct	468.7
3	carry	704.6	area	438.2
4	area	603.9	carry	325.3
5	fully	488.6	fully	293.8
6	install	421.7	arrange	180.2
7	instruct	421.7	change	180.2
8	arrange	337.8	exchange	180.2
9	change	337.8	appear	180.1
10	exchange	337.8	public	132.5

表 26 4-gram 音素列の発話スコアに基づいた
単語ランキング(被験者 E)

順位	単語	スコア
1	install	849.0
2	instruct	849.0
3	arrange	766.1
4	change	766.1
5	exchange	766.1
6	fully	689.0
7	public	588.8
8	publish	588.8
9	appear	295.6
10	carry	273.7

4.4. 実験考察

表 15~17 は単一の音素列 (1-gram) に基づく発話スコアから、発話が苦手な単語をランキングしている。一方、表 18~表 26 は、2-gram 以上の音素列に基づく発話スコアによるランキング結果である。両者の結果を比較することにより、表 27~29 に示すような単一の音素列では抽出できない単語が存在することがわかる。これらは単一音素ではなく、 n -gram 個の音素の組み合わせが要因となり被験者にとって発話を苦手としている単語と考えられる。特に、「advanced」、「construction」、「maintain」、「necessary」、「establish」といった英単語は、2, 3-gram 音素列に共通しているため、それぞれの被験者に対しての有力な発話苦手単語と考えられる。ただし、発話単語および発話単語が含む音素列を多く含む「arrange」や「exchange」、「instruct」いった単語は、発話スコアが高くなる傾向も見られた。

以上の結果により、単一の音素列だけではなく、 n -gram ($n>1$)の音素列に着目することにより、学習者が発話未経験の単語に対しても、発話苦手単語の推定が実現可能である見込みを得ることができた。

表 27 1-gram では抽出されなかった単語(A,B)

対象者	A	B
2-gram のみ	appointment material previous agree anniversary average brief	adjust alternative concerned conference consider convenience
3-gram のみ	appropriate material orientation <u>account</u>	demonstrate inspire appropriate
4-gram のみ	<u>install</u> instruct <u>public</u> publish <u>appear</u> arrange <u>change</u>	<u>carry</u> arrange <u>change</u> exchange <u>public</u> <u>publish</u> <u>appear</u>
2, 3-gram に共通	maintain	maintain advanced construction
2, 4-gram に共通	-	-
3, 4-gram に共通	<u>carry</u>	<u>install</u> instruct <u>fully</u> <u>area</u>
2, 3, 4-gram に共通	<u>area</u>	-

表 28 1-gram では抽出されなかった単語(C,D)

対象者	C	D
2-gram のみ	comfortable reasonable accomplished assembly considerable	maintain adjust alternative concerned conference consider convenience
3-gram のみ	<u>hear</u> maintain account appropriate	demonstrate inspire appropriate material
4-gram のみ	<u>install</u> instruct arrange <u>change</u> exchange	material <u>fully</u> arrange <u>change</u> exchange <u>appear</u> <u>public</u>
2, 3-gram に共通	establish	advanced construction
2, 4-gram に共通	-	-
3, 4-gram に共通	<u>carry</u> <u>area</u>	<u>install</u> instruct <u>area</u>
2, 3, 4-gram に共通	publish	-

表 29 1-gram では抽出されなかった単語(E)

対象者	E
2-gram のみ	adjust alternative concerned conference consider convenience
3-gram のみ	demonstrate inspire airplane campaign
4-gram のみ	<u>change</u> exchange <u>fully</u> <u>public</u> publish <u>appear</u> <u>carry</u>
2-3-gram に共通	maintain advanced construction
2-4-gram に共通	-
3-4-gram に共通	<u>install</u> instruct arrange
2-3-4-gram に共通	-

5. まとめ

本研究では、学習者が発話を苦手とする音素列を抽出する手法を提案した。本手法の特徴は、学習者の苦手な音素（発音誤り音素）を単一にではなくその前後の音素を n-gram として抽出し、n-gram 単位でスコア付けを行う点にある。これにより、単一の苦手な音素だけでなく、音素の組み合わせに着目することによる、学習者毎の発音の苦手な単語や文章を抽出することが可能となる。

また、提案システムのプロトタイプを用いた実験により、単一の音素に着目した場合には抽出できない、音素同士の組み合わせが要因となって学習者が発話を苦手とする単語群を抽出可能であることを確認した。また、音素列に着目したランキングにより学習者が発話未経験の単語に対しても、発話苦手単語の推定が実現可能である見込みを得ることができた。

今後の課題として、抽出された発話が苦手と推定される単語群を対象とした発話実験を実施し、正解率などを算出することで提案方式の有効性を評価していく予定である。

参 考 文 献

- [1] 小野寺 進, “英語リスニング能力を高める方法 : 発音記号と音読”, 21 世紀教育フォーラム 11, pp. 11-19, 2016.
- [2] 藤本恵子, “音韻知識が日本人 EFL 学習者のリスニングに与える影響について”, JACET Kansai journal 16, pp.90-102, 2014.
- [3] 吉田一道, 能勢隆, 伊藤彰則, “日本人による英語歌唱音声の発音評価手法の検討”, 研究報告音楽情報科学 (MUS) 2014.9, pp.1-6, 2014.
- [4] 河合剛, 石田朗, 広瀬啓吉, “2 言語の音響モデルを用いた音声認識による非母語発音誤りの検出と発音評価”, 日本音響学会誌, 57 (9), pp. 569-580, 2000.
- [5] Ahmad Alsuhaimeh, “Teaching Pronunciation via Computer Technology: Principles and Best Practices”, CATESOL Journal, Vol.30, No.1, pp195-212, 2018.
- [6] Richard Cauldwell, “Listening and Pronunciation require separate models of speech”, Proceedings of the 5th Pronunciation in Second Language Learning and Teaching Conference, pp.40-44, 2014.
- [7] Marla Tritch Yoshida, “Choosing Technology Tools to Meet Pronunciation Teaching and Learning Goals” CATESOL Journal, Vol.30, No.1, pp195-212, 2018.
- [8] Yolanda Joy Calvo Benizes, “Contributions of new technologies to the teaching of English pronunciation”, ISSN-e 1989-7103, Vol.9, pp.1-35, 2017.
- [9] Kou, Zhenzhen & Stanton, Daisy & Peng, Fuchun & Beaufays, Francoise & Strohman, Trevor. (2015). “Fix it where it fails: Pronunciation learning by mining error corrections from speech log”, ICASSP.2015, pp.4619-4623, 2015.
- [10] 加藤草平, ロス・タロック, 中村信子, 工藤郁子, 石橋敦子, “TOEIC® L & R テスト 基本単語帳”, 2018.