

聴覚障害者のための口形つきアニメーションの 教材に関する検討

喜田村朋子, ワイデックス(株)
荒井 隆行, 上智大学

An education tool with an animated talking agent named Baldi, that has been developed at Center for Spoken Language Understanding at the Oregon Graduate Institute is used at a school for deaf children using oral language in Tucker-Maxon (Portland, Oregon, USA). Tutors for the language education like the CSLU Toolkit have not been used in Japan. In order to implement a Japanese language animated agent, we have tried to map visemes of Mexican Spanish phonemes to the corresponding visemes of Japanese phonemes. In this thesis, we proposed the ways in which these resources can be used effectively in Japan. We focused on the following areas:

- We can obtain not only audible information but also visible information from an animated talking agent;
- By combining an animated talking agent, speech synthesis, speech recognition, and images, we can make any kind of tutor with the CSLU Toolkit.

The result of the perceptual experiment showed that the intelligibility of words was improved by displaying the animation simultaneously. We concluded that the CSLU Toolkit could be effective for training the hearing impaired in Japan.

1. はじめに

聴覚障害者の聴覚及び口話によるコミュニケーション能力を高めるための教材は、これまでもいくつか市販されてきた。聴覚障害者にとっては、他人の発する音声と自分の発する音声を耳で聞いて比較・判断し、フィードバックすることが難しい。そこで容易かつ安価に構音・発声を視覚的に学習できるようにする発声練習システム「あいちゃんの手」というような教材が作られてきた[1]。また一方でコンピュータと人間とのより円滑なコミュニケーション実現のために、リアルに話し言葉を発するエージェントを作り出すインターフェイス技術の研究が盛んに行なわれている[2, 3]。ここでは、エージェントを用いることによる発話中の視覚情報（唇・舌・顎の動き）の重要性にも着目している。特に雑音環境のように有用な聴覚情報の減少している中において、視覚情報が加わることによって話が理解されやすくなる。口形つきのエージェントによる視覚的情報を加えると、人間の自然発話音声および合成音声の明瞭度が向上することが分かっている。

る[4]。また音声によるコミュニケーションは、発話者の表情、感情、ジェスチャーによって豊かなものとなる[5]。さらに、こういった視覚情報は、聴覚情報の欠損しがちな聴覚障害者にとっても重要なものである。従って聴覚的にも視覚的にも正しく発話することのできるエージェントは、高齢化社会においても増加が予想される聴覚障害者にとって大変可能性のあるものである。なぜならば聴覚障害者にとって、視覚的に発話を読み取る「読話」や、残存聴力を活用して言葉を聴き取る訓練のできるエージェントは非常に意味のあるものだからである。

そこで、口形つきアニメーションを用いたインターフェイス技術が、聴覚障害児および健聴児の語彙獲得・読話訓練・発音訓練のためのレッスン教材として口話法によるろう学校Tucker-Maxon (米国、オレゴン州、ポートランド市)で使用されてきた [6, 7, 8]。この教材の日本語への適用を試み、それを用いて口形つきアニメーション付加による効果を調べるために実験を行なった。またこのような教材の日本における活用法の可能性を検討した。

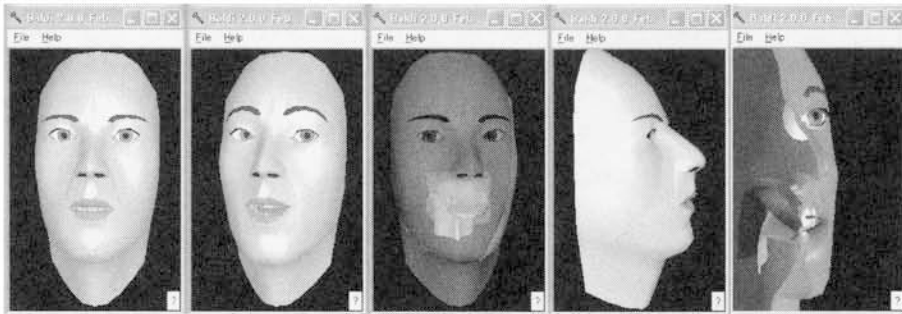
2. CSLU Toolkitとその日本語化

2.1 従来版のCSLU Toolkit

1993年より、CSLU (Center for Spoken Language Understanding at the Oregon Graduate Institute)において使いやすく、話し言葉に基づく様々な機能を含んだソフトウェアが開発されてきた。それがCSLU Toolkit[9]である。このToolkitは頭部、テキスト音声合成、音声認識の各技術が組み合わされたものである[6]。これらのプログラムを操作することによって新しい言語を後から容易に付け加え、それらの言語で利用することができることが確認されている[16]。

2.1.1 アニメーション

頭部のアニメーションには、PSL (Perceptual Science Laboratory at the University of California, Santa Cruz)で開発されたBaldiと呼ばれる3Dアニメーションが用いられている。CSLU Toolkitで用いられているこのアニメーションの特性は以下の通りである[10]。



[図1: Baldiの表示。左より顔(標準)・顔(happy)・顔の表面を透過させたもの・横顔にしたもの・顔の断面図]

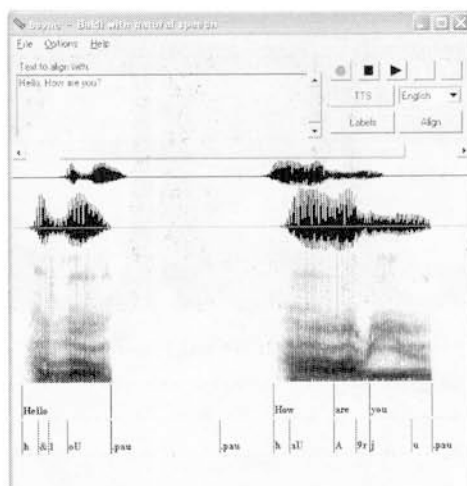
- (1) 唇・舌・顎・顔の動きと、合成音声および録音された人間の自然発話音声自動的に同期する。
- (2) 顔の表面(肌)を透過させ、歯や発話中の舌の動きを見ることができる。
- (3) 顔の角度を変えることによって、発話の様子を様々な角度から見ることができる。
- (4) 顔の表情を変えることができる。
- (5) 顔の断面図を見ることができる。

顔の表情を変えたもの、肌を透過させたもの、顔の角度を変えたもの、顔の断面図を見られるようにしたものについては図1に示す。2003年7月より、CSLR (The Center for Spoken Language Research, University of Colorado)において開発されたCU Animateと呼ばれる、よりリアルなアニメーションがCSLU Toolkitに加えられている[21]。

2.1.2 音声合成

音声合成には、CSTR (The Center for Speech Technology Research University of Edinburgh)で開発されたFestivalと呼ばれるテキスト音声合成システム[11]が用いられている。Baldi Syncと呼ばれるアプリケーションを用いて音声合成を実行した結果を図2に示す。CSLU Toolkitで用いられているこのシステムの特徴は以下の通りである[10]。

- (1) 男声・女声、アメリカンイングリッシュ・メキシカンスパニッシュを含む数種類の合成音声を作ることができる。



[図2: Baldi Syncを用いた音声合成]

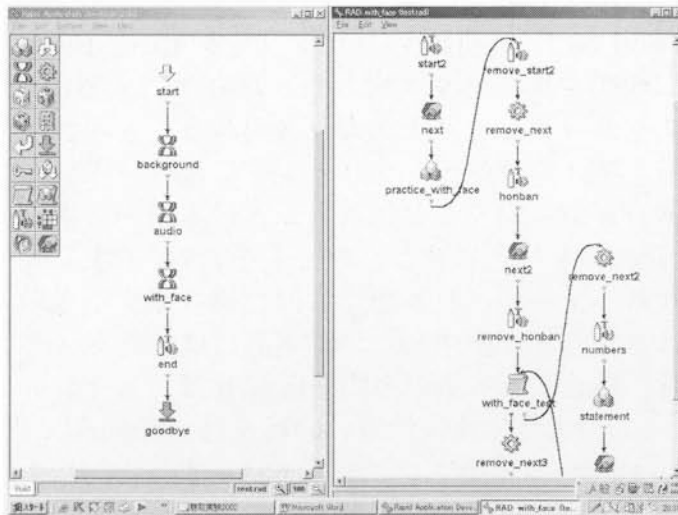
- (2) テキストから、文章の文節ごとに適切な接続時間およびピッチ周波数やインテンシティなどの韻律的要素を求め、合成音声に変換する。
- (3) 合成音声の発話スピードやピッチ周波数を変えることができる。

2.1.3 音声認識

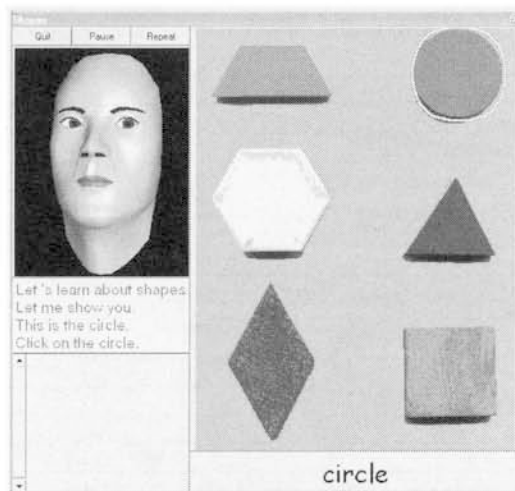
音声認識には、人工的ニューラルネット (ANN) 型識別器と隠れマルコフモデル (HMM) のハイブリッドシステムが使われている。

2.1.4 RAD (Rapid Application Developer)

以上の技術を用いて教材を作るダイアログは、RAD (Rapid Application Developer) と呼ばれている。RADを立ち上げると、空きのキャンバスとツール表が現れる。このときのウィンドウを図3に示す。図3にあるツールの一つ一つはオブジェクトを表し、音声合成・音声認識・アニメーション (Baldi) が使えるようになっている。また字幕や画像の表示・非表示も自由にコントロールすることができる。教材を作成する際、ツール表からキャンバスにオブジェクトをdrag-and-dropして、並べ、さらにそれらを線で結ぶ。そしてBaldiの台詞などを指定されたところに入力したりする[7]。教材作成者のアイディアによっては、オブジェクトの並べ方や工夫次第で、様々なスタイルの教材を作り出すことができる。Tucker-Maxonで使われていた教材の例をここに挙げる。これらは、すべてRADおよびVocabulary Tutorと呼ばれる語彙獲得を主な目的とした教材作成のためのウィザードを用いることによって、作成可能である。Vocabulary Tutorの例を図4に示す。ただし、いずれも実際に学校の授業や家庭において、先生や家族などの指導者による指導後、補足的に復習することを主な目的として使われていた。



[図3: RADの例 (本研究の実験で使ったもの)]



[図4: Vocabulary tutorの例]

- (1) 語彙を増やすための絵カード代わりに使う。例えば、アメリカの州名を覚えるために使うなど。
- (2) 絵本の代わりに使う。絵本の絵をスキャナで読みこみ、それを表示しながら、先生の声とBaldiの口の動きを同期させて読み上げる。
- (3) 子音の聞き取り訓練に使う。例えば、“bag”と“wag”のような minimal pair の単語を聞き取るなど。
- (4) 正しい発音によって場面が進むようにする。例えば、ピザの注文の場面を想定し、「ピザの大きさは大・中・小どれがよいですか？」などという質問に生徒が答え、正しく認識されれば次の場面に移るようにするなど。

2.2 CSLU Toolkitの日本語化

最初に、既存のCSLU Toolkitのプログラムを用い、Baldiに日本語のルールに従って口を動かすことを実現した。現在手に入るCSLU Toolkitはアメリカンイングリッシュとメキシカンスパニッシュの音声合成データのみを含んでいる。アメリカンイングリッシュに比べメキシカンスパニッシュと日本語の構音が似ていることに着目し、日本語の音素にメキシカンスパニッシュのvisemeを対応させた。対応表を表1に示す。メキシカンスパニッシュに含まれる子音で、日本語でも似た構音をするもの、例えば歯茎破裂音/t/などは、そのまま使用した。日本語にはあるがメキシカンスパニッシュにない音、例えば日本語の声門摩擦音/h/は、メキシカンスパニッシュの母音/a, i, e, o/のように比較的近い口形を持つvisemeで代用している。テキストからvisemeへの変換プログラムを修正することによって、任意の日本語音声にBaldiの口の動きを同期させることを実現した。これは、RADによる教材で使うことができる。

[表1: 日本語とメキシカンスパニッシュの音素対応表。]

Japanese phoneme	Japanese word	Spanish phoneme	Spanish word	OGLbet
/p/	pasokon, happyou	/p/	peso	p
/b/	banana	/b/	beso	b
/t/	te	/t/	tos	t
/d/	dashi	/d/	dos	d
/k/	ka	/k/	casa	k
/g/	ga	/g/	gasa	g
/f/	fu	/f/	fifa	f
/s/	suika	/s/	sis	s
/dʒ/	ziku, zyama	/dʒ/	llave	jh
/ʃ/	shika, syumi	/s/	—	sh
/tʃ/	tikara, otya	/tʃ/	choca	ch
/m/	mimi, kamban	/m/	amo	m
/n/	niku	/n/	ana	n
/nj/	nyoubou	/nj/	ano	—
/N/	kaban	/N/	banco	ng
/r/	rappa	/r/	pero	r
/j/	yoru	/j/	mayo	y
/w/	wa	/w/	cuatro	w
/h/	happa	/a, i, e, o/	—	hh
/a/	aka	/a/	pase	ah
/i/	iki	/i/	pise	ih
/u/	uku	/u/	puse	uh
/e/	eki	/e/	pese	eh
/o/	oku	/o/	pose	ao
/ee/	eiga	/ee/	—	—
/oo/	ousama	/oo/	—	—

3. 識別実験

日本語音声を聴覚のみで聴取した場合と、聴覚および視覚、つまりアニメーションを付加した場合の聴取実験を行ない、聴覚障害者に対するアニメーションの有効性を見ることを目的として実験を行なった。ここで、メキシカンスパニッシュのvisemeによる有効性が認められるならば、日本語のvisemeを用いた場合は更なる効果が期待される。

3.1. 刺激音

刺激音として、日本人男性による「私の名前は____です」という文章を提示した。____の部分にはVCVの無意味音節が入り、Vは/a/で統一した。Cの部分は、10の子音/k, g, s, z, t, d, p, b, n, m/のうちから1つずつを割り当てた。この10の子音の選定においては、Nishida[14]による子音に関するConfusion treeを参考にし、聴取においてもっとも誤りやすい組を5組選んだ。

3.2. 被験者

被験者は言語能力の習熟している聴覚障害者3人（学生2、社会人1）である。いずれもWHOが定めるところの重度難聴（500, 1K, 2KHzの言語域で聴力レベル90dB以上）であり、両耳に補聴器を装用していた。

3.3. 実験方法

上智大学内でデスクトップPCを用いて行なった。刺激音聴取にはヘッドホンの代わりにタイループ（リオン、ML-33）を用いた。音量は各被験者にとって聴き取りやすい大きさに設定した。

最初に聴覚のみで、子音10種類を含む刺激音をランダムに5回ずつ聴取してもらい、次にアニメーションを提示して聴覚及び視覚で、同様に聴取してもらった。各刺激音は1回ずつ流し、被験者の聴き取れたと思われる子音を選択してもらった。聴き取れなかった場合も強制的に選択してもらった。表示するアニメーション（Baldi）の顔の大きさは、口の動きが十分に読み取れる大きさに設定した[15]。

3.4. 実験結果

聴覚のみ刺激音が提示された時の結果を表2に示し、アニメーションによって聴覚および視覚で刺激音が提示された時の結果を表3に示す。表の子音の列は提示された刺激音を示し、行は被験者の回答を示す。例えば、表2における/k/の結果において/k/と聴き取れた回数が10回、/t/と聴き誤った回数が1回、/p/と聴き誤った回数が4回であったということである。

[表2: 聴覚のみに刺激音が15回提示されたときの結果。]

被験者の回答

	k	g	s	z	t	d	p	b	n	m
k	10				1		4			
g		5		6				3	1	
s	4		4		3		4			
z	1	5		5		2		2		
t	2		6		1	1	5			
d	1	3	1	2			1	3	1	3
p	2		1		1		11			
b		1					1	9	3	1
n		1		1				2	4	7
m		1						2	4	8

[表3: 聴覚および視覚によって刺激音が15回提示されたときの結果。]

	k	g	s	z	t	d	p	b	n	m
k	14				1					
g	1	4	1	3		1	1		4	
s	4		7		3		1			
z	1	4		4		2		1	3	
t	4		3		6		2			
d	2	1		1	3	2		3	3	
p	2		2		1		8	1		1
b	1	1		1	1	2		8	1	
n		2				2			9	2
m		1							4	10

総合的に見ると、聴覚刺激のみの場合は正答率が38%、視覚情報も提示した場合は正答率が48%となり、モダリティ間に有意差が示され(p<0.05)、アニメーションによる視覚情報付加の効果が見られた。

4. 考察

4.1. 識別実験

視覚情報も提示した場合の実験結果において顕著に現れた改善点は、無声音・有声音ともに、軟口蓋と歯茎の破裂音および摩擦音と、両唇破裂音の間における聴き間違いが減ったことである。これらを表4に示す。表内に示された数値は、矢印の尾側の音素を先端側の音素に、15回中何回聴き間違えたかを表している。左側の数値が聴覚刺激のみの場合で、右側が視覚情報も提示した場合である。例えば、無声軟口蓋破裂音/k/を無声両唇破裂音/p/と聴き間違えた回数は、聴覚刺激のみの場合は15回中4回であった

[表4: 軟口蓋・歯茎破裂音および摩擦音と両唇破裂音の聴き間違い改善度。]

		軟口蓋		歯茎		両唇破裂音		
無声音	破裂音	/k/		4/15→0/15	→		/p/	
						5/15→2/15		
				/t/	→		/p/	
	摩擦音				4/15→1/15	→		/p/
				/s/	→		/p/	
有声音	破裂音	/g/		3/15→0/15	→		/b/	
						変化なし		/b/
					/d/	→		/b/
	摩擦音					2/15→1/15	→	/b/
					/z/	→		/b/
		鼻音					7/15→2/15	→
				/n/	→		/m/	

が、視覚情報も提示した場合は15回中0回に改善されたことを示す。最後に、/p, b, m/の両唇音については、もともとCSLU Toolkitにおける不具合のために、両唇が完全に閉じた状態から破裂せず、このことがこれらの子音における成績不振の原因として考えられる。しかし、これを差し引いても全体的には10%の正答率の上昇が見られ、特に両唇音とそうでない音の聴き分けが良くなったことが言える。

以上より、日本語の自然発話音声をメキシカンスパニッシュのvisemeに合わせた場合、聴覚刺激のみの場合よりもより理解の明瞭度が上がることが示された。すなわち、日本語のvisemeを使用すれば、さらなる改善が期待される。また、Baldiの顔の表面（肌）を透き通らせ、外からは見えない顎・舌の動きが観察できるようにしたものを組み合わせることによってさらなる改善が期待される。

4.2. 応用例

4.2.1. 中途失聴者・高齢難聴者への応用

この日本語化されたCSLU Toolkitを用いた場合、こういった使い方が効果的であるか、日本の言語聴覚療法士やろう学校の先生に案を出していただいたので、それをまとめる。まず、CSLU Toolkitを、語彙獲得よりも読話力向上のために用いることにポイントをおくとするならば、中途失聴者や高齢難聴者を対象にすることが適切と思われる。その理由として次のことが挙げられる。コミュニケーションにおける聴覚併用読話率と読書力との間には相関関係があることがわかっている [12, 13]。つまり、言語理解力については言語能力が聴覚障害者の読話能力を規定する一つの重要な因子となっている [13]。なぜならば、読話は発声発語器官の動きの知覚をもとに、音韻ないし音節を推測し、さらに語や統語などの言語能力、話し手の非言語的伝達の受信、場面や状況の手がかり、さらには残存聴力による聴覚的情報、相手についての知識など、きわめて多くの情報を総合して、“話”を推測するからである [12]。このことより、CSLU Toolkitは、言語習得の初期にある幼児よりも中途失聴者や高齢難聴者のように、すでに言語能力が習熟している人たちのための読話力向上の訓練に活用できるのではないかと考える。

ここに、中途失聴者が読話の技術を習得するための過程と、そこでCSLU Toolkitがどのように活用できるかを示す。

- (1) 単音節レベルで読話の練習をする。
- (2) 単語レベルで読話の練習をする。
- (1)(2) より、日本語の語音と口形の関係の規則を体得していく。
- (3) 話し手の表情、しぐさや話しているときの状況などの非音声的要素から話の内容を予測することに慣れる。そして、様々な人の色々な話し方に慣れていく。

中途失聴者には、これまで健聴者であり、自分の構音を意識せずに発話し

てきた者が多い。そのため、外部から見ることでできる発声発語器官の動きは限られており、見える動きが同じようでも、見えない部分で異なって発音される音は区別ができない [12] ということを理解することが難しい。つまり、“同口形異音” が多数存在することが理解できないのである。これは読話講習会などの限られた時間内に習得することには限度がある。従って家に帰った後、鏡を使って自分の口形を見ながら独習することも必要とされる。しかし、この方法では、自分で発しようとしている単語が既に自分でわかっているため、読話の練習にならないという問題が起きる。そこで、CSLU Toolkitを用いてBaldiにいろいろな単音節または単語を発声させ、それを読みとる練習をするといった、読唇への活用方法が提案できる。

4.2.2. 聴覚障碍児の語彙獲得への応用

TMで実施されているように使うこともできる。つまり、CSLU Toolkitを言語能力の安定していない年齢の聴覚障碍児のための、指導者や家族と共に学習したことを復習する補足的な学習としての語彙獲得のために活用するのである。子供たちが新しい語彙の意味を学ぶにあたり、マルチメディアを用いた対話形式のコンピュータソフトウェアが理想的な教材であることが発表されている [18, 19] ことから、聴覚及び視覚双方に働きかけるコンピュータソフトウェアCSLU Toolkitは有効に活用されることが言える。またBaldiの表面（肌）を透過させ、舌の動きと口蓋との対比を観察し、構音の練習をするためのモデルとして用いることもできる。そして相手がコンピュータであることを利用し、何度もBaldiに繰り返し話させることもできる。

また、語彙獲得に関しては、健聴児に対しても同様な教材が活用できる可能性がある。実際にVocabulary Tutorを用いて、TMにおいて11～14歳の聴覚障碍児及び健聴児に10～15個の新しい語彙を完璧に覚えてもらったところ、30日後にもそれらの語彙のうち約半分を覚えていたことが分かった [20]。また自閉症の子供に対してもCSLU Toolkitによる効果のあることが確認されている [17]。さらにアメリカンイングリッシュおよびメキシカンスパニッシュによる既存のCSLU Toolkitは日本人の外国語学習にも大いに用いることができるのではないか。

5. おわりに

本論文において口形付きアニメーションが含まれたCSLU Toolkitについて紹介した。そしてこの口形付きアニメーションによって、聴覚情報だけでなく視覚情報も得られることを説明した。このCSLU Toolkitを用い、アニメーションおよび合成音声または録音された人間の音声と音声認識と画像の組み合わせによって、作成できる教材には様々な可能性がある。こ

のCSLU Toolkitを、我々は日本語のルールに従い、また録音された人間の音声に合わせてBaldiが口を動かすことのできるようにした。これを用い、聴覚障害者に対して聴覚情報のみの場合と、聴覚情報および視覚情報、つまりアニメーションを付加した場合の聴取実験を行なった。その結果、アニメーションの視覚情報を付加することによって聴取の正答率が上昇することが示された。ここでは日本語の音声をメキシカンスパニッシュのvisemeに合わせた。さらに、日本語のvisemeを使用した場合はさらなる改善が期待されることが示された。これは、健聴者に対しても同様に言える。以上より、CSLU Toolkitを用いて、日本においても聴覚障害者および健聴者に対して有効な教材が作れることを提案したい。

最後に、現在TMのCenter for Technology in Oral Educationにより、ろう学校の先生及びSLPs (Speech Language Pathologists)からTucker-Maxon Vocabulary Tutorialsに関する評価を集めることを目的としたフィールドテストが現在も続行されていることを記す。

謝辞

CSLU Toolkitについてご指導くださったOregon Graduate InstituteのMr. John-Paul Hosom及びMr. Johan Wouters、Tucker-Maxon Oral Schoolの皆様、特にMs. Pamela Connors及びMr. Patrick S. Stoneに厚くお礼を申し上げます。また、貴重なご意見・ご助言を頂きました上智大学言語障害研究センターの飯高京子先生及び進藤美津子先生、帝京大学名誉教授田中四美郷先生、ノーサイドの皆様、神奈川県聴覚障害者福祉センターの岩崎友子先生、山内浩一先生（現在国際医療福祉大学院在籍）、そして横浜市立聾学校の長谷房代先生に感謝申し上げます。

参考文献

- 中村敬和, 昆昭彦, 青木功, 浅輪晃一, “聴覚障害児用 発声練習システム「あいちちゃんの手」,” 音声言語情報処理, 98-105 (1998).
- J. Beskow, K. Elenius, and S. McGlashan, “Olga - A dialogue system with an animated talking agent,” *Proc. of Eurospeech*, 69-72 (1997).
- R. Carlson and B. Granström, “The Waxholm spoken dialogue system. Palková Z, ed. *Phonetica Pragensia IX. Charisteria viro doctissimo Premysl Janota oblata*,” *Acta Universitatis Carolinae Philologica* 1, 39-52 (1996).
- J. Beskow, M. Dahlquist, B. Granstrom, M. Lundeberg, K. Spens and T. Ohman, “The teleface project multi-modal speech-communication for the hearing impaired,” *Proc. of Eurospeech*, (1997).

- D. W. Massaro, "Perceiving Talking Faces," *Speech Perception to a Behavioral Principle*, MIT Press, (1998).
- R. A. Cole, "Tools for research and education in speech science," *ICPhS*, 1277-1280 (1999).
- P. Connors, A. Davis, G. Fortier, K. Gilley, B. Rundle, C. Soland, and A. Tarachow, "Participatory design: classroom applications and experiences," *ICPhS*, 1285-1288 (1999).
- P. Stone, "Revolutionizing language instruction in oral deaf education," *ICPhS*, 1281-1284 (1999).
- <http://cslu.cse.ogi.edu/toolkit/download/index.html>
- S. Sutton, R. Cole, J. de Villiers, J. Schalkwyk, P. Vermeulen, M. Macon, Y. Yan, Ed. Kaiser, B. Rundle, K. Shobaki, P. Hosom, A. Kain, J. Wouters, D. Massaro, and M. Cohen: Universal speech tools, "The CSLU Toolkit," *Proc. of ICSLP*, 3221-3224, (1998).
- A. W. Black, P. Taylor, and R. Caley, "The Festival Speech Synthesis System," System Documentation, Edition 1.4, for Festival Version 1.4.0, (1999).
- http://www.cstr.ed.ac.uk/projects/festival/manual/festival_toc.html
- 坂本幸, 恩納亮子, "読話における口形の弁別力と個人差の影響について," *宮城教育大学紀要第33巻*, 157-168 (1998).
- 田中美郷, 進藤美津子, 本宮敏司, "テレビを用いた読話テストと高度聴覚障害者のコミュニケーション能力について," *Audiology Japan*, 16, 109-119 (1973).
- S. Nishida, "Speech recognition enhancement by lip information," *Proc. Comput. Human Interfaces.*, 198-204 (1986).
- K. W. Berger and G. R. Popelka, "Extra-facial gestures in relation to speech reading," *J. Comm. Dis.*, 3, 302-308 (1971).
- S. Ouni, D. W. Massaro, M. M. Cohen, K. Young and A. Jesse, "Internationalization of a Talking Head," *Proc. of ICPhS*, 2569-2572, (2003).
- D. W. Massaro, A. Bosseler and J. Light, "Development and Evaluation of a Computer-Animated Tutor for Language and Vocabulary Learning," *Proc. of ICPhS*, 143-146, (2003).
- V. W. Berninger and T. L. Richards, "Brain literacy for educators and psychologists," San Diego: Academic Press, (2002).
- J. Wood, "Can software support children's vocabulary development?," *Language Learning & Technology*, 5, 166-201, (2001).
- I. L. Barker, "Computer-assisted vocabulary acquisition: The CSLU vocabulary tutor in oral-deaf education," *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, in press.

J. Ma, J. Yan and Ron Cole, "CU Animate Tools for Enabling Conversations with Animated Characters," The CSLR International Workshop, (2003).

http://cslr.colorado.edu/beginweb/cuanimate/cuanimate_paper.html