

TR-IT-0079

F_0 制御規則から得られたピッチパターンを用いた分析合成音声と原音声データとの自然性の違いに関する検討

澤 礼子[†]
Reiko Sawa

平井 俊男
Toshio Hirai

樋口 宜男
Norio Higuchi

1994.12

音声合成において、自然で、聴き取り易い音声を合成する為には、韻律パラメータ、特に F_0 の適切な制御が重要である。この制御を自動的に行なうモデルの一つとして、基本周波数パターンを制御する規則 (F_0 制御規則) を学習データにより自動推定する手法が提案されている。今回は学習によって得られた F_0 制御規則を用い、それに基づく合成音声の自然性について、分析、検討を聴取実験により行った。聴取実験の結果、合成音声は全般に「自然である」との評価が得られたが、幾つか F_0 制御規則を改善すべき問題点も明らかになった。

† 奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology

©ATR 音声翻訳通信研究所

©ATR Interpreting Telecommunications Research Laboratories

目次

1	はじめに	3
2	聴取実験	4
	2.1 実験方法	4
	2.2 分析方法	5
	2.3 分析結果及び考察	6
3	まとめ	13
	3.1 アクセント型0型のアクセント句に1型が続く複合語について	13
	3.2 今回の聴取実験に関する問題点と課題	13
	付録 A プログラム・データリスト	14
	付録 B プログラム	17
	B.1 xsawa/Work1/select5 ©sed&awk プログラミング (アスキー出版局)	17
	B.2 xsawa/Work1/memo ©平井	17
	B.3 xsawa/Work1/play_for_test	19
	B.4 xsawa/Work2/makeswap	20
	B.5 xsawa/Work3/makesound ©澤 & 平井	20
	B.6 xsawa/Work4/makes ©澤 & 平井	21
	B.7 xsawa/Work5/memo/memo	23
	B.8 xsawa/Work5/h_test.memo	24
	付録 C 聴取実験の回答用紙	26

1 はじめに

従来の合成音声に聴き易さ、正確な意味理解の容易さ、感情表現等を加えるためには韻律的特徴の適切な制御が必要となる。日本語の場合は、韻律制御の中でも特に基本周波数(以下、 F_0)の制御が重要だとされている。この F_0 制御規則を言語情報から自動的に抽出するモデルが提案されている。[1]

このモデルは、藤崎型 F_0 生成モデルパラメータを推定する規則を空間多重分割型数量化法(Multiple Split Regression, MSR)から求めるものである。このようにして求めた規則を以下 F_0 制御規則という(図1.1参照)。藤崎型モデルでは、 F_0 パターンを2つの離散的な入力であるフレーズ指令・アクセント指令に対する臨界制動応答であると仮定している。

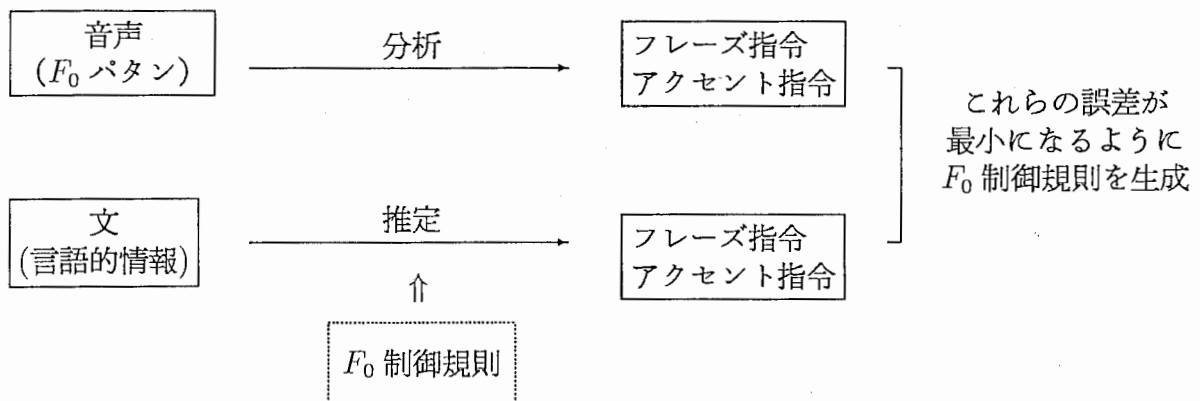


図 1.1

このような F_0 制御規則により最適化されたモデルパラメータから推定された F_0 値と実データとの平均推定誤差は2.27semitone (150Hz付近で約18Hz)であると報告されている。しかしながら、聴覚的見地からみた場合、

- (1) これらの間に 差は確認されるのか。
- (2) 差が確認された場合、どのような差となって現れるのか。
(その差は違和感を感じさせるものなのか否か、等)

については確かめられておらず、これらの事柄を明らかにする必要がある。本稿では、これらを合成音声の自然性について評価するという形で検討を行なった。さらに F_0 制御規則は「自然な合成音声」を作り出すことができるかについて検討した。

2 聴取実験

合成音声の自然性についての評価を聴取実験により行なった。ここでは、

- (1) 音声資料から分析された藤崎型モデルパラメータに基づく合成音声
- (2) F_0 制御規則より推定された藤崎型モデルパラメータに基づく合成音声

の2種類の音声の自然性を比較した。

ここで、本稿で扱う合成音声における自然性とは何かについて明記しておかなければならない。合成音声に求められる最も基本的な条件は明瞭性(意味伝達の正しさ)であり、その次のレベルにくるものが自然性であると考えられる。「自然な合成音声」とは、その音声が我々の許容できるものであり、不快感、違和感等を与えないことを意味する。音声の聞き取り易さ(発話速度、声質、話し方)、感情表現等はさらにその上に要求されるべきものである。[2]

今回扱った合成音声は F_0 パタンのみを変化させたものなので、自然性の評価とは韻律的特徴に関するもの、特にイントネーションやアクセントに対する評価に限定される。イントネーションやアクセントに関する自然性の評価では

- (1) コマンドレベルの不適切さによる影響
- (2) 方言差による影響

が感じられるほど、低い評価がつけられると考えられる。ただし、上に述べたような合成音声における自然性の評価レベルから言えば、(2)よりも(1)の方を重要視するべきであろう。

2.1 実験方法

● 評価対象

1. 文章実験に用いる文章サンプルは、ATR 音声翻訳通信研究所の音声データベース Bset(全 503 文)の中からランダムに選び出した 5 文章を用いた ([3] の話者 A)。

- | | |
|-----------|---------------------------------------|
| sentence1 | 「一週間ばかりニューヨーク取材した。」 |
| sentence2 | 「ちょっと遅い昼食をとるため
ファミリーレストランに入ったのです。」 |
| sentence3 | 「嬉しいはずがゆっくり寝てもいられない。」 |
| sentence4 | 「人間とは微妙で複雑な生き物である。」 |
| sentence5 | 「弟子に腕を支えられながら最後まで引き続けた。」 |

話者は MHT (アナウンサー) である。

2. F_0 パタン

聴取実験では、上述の2つの合成音声に、単純化した F_0 制御規則に基づく音声を加えた計3種類の合成音声を用いた。これは被験者の回答のレンジの幅を広げるためである。簡単のため、以下では各合成音声を original、rules、simple rules と呼ぶことにする。

F_0 制御パラメータの大きさ (アクセント指令、フレーズ指令)	合成音声
音声資料から分析	original
MSRにより求められた F_0 制御規則から推定	rules
単純化した F_0 制御規則から推定	simple rules

ここで、単純化した F_0 制御規則とは、フレーズ指令・アクセント指令の値がそれぞれ2値しかとらない (MSRにおいて初期1分割しか行なわれない) 推定規則である。フレーズ指令においては、先行フレーズモーラ数が1～9であれば0.43、10以上または先行フレーズが存在しなければ0.59とした。またアクセント指令の場合は、当該アクセント句のアクセント型が1～3であれば0.49、4以上または0ならば0.33とした。[3]

1、2に示された3つの F_0 パターンと5つの文章の組合せ15文章を、同種の文章が連続しないように8回ずつ繰り返し、計120文章に対して評価を行なった (付録B.2、C参照)。

- 評価：5段階絶対評価を行なった。

	「自然」だと感じられれば	5	
	「おおむね自然」だと感じられれば	4	
音声	「どちらとも言えない」ならば	3	を付けることとした。
	「やや不自然」だと感じられれば	2	
	「極めて不自然」だと感じられれば	1	

- 被験者：ATR 音声翻訳通信研究所内の人11人
(内、男性5人：合成音声を聞き慣れている、女性6人：合成音声を聞き慣れていない)
- 場所：防音室
- 所要時間：25分弱
- その他：被験者には予め、音声のイントネーションのみに注目して評価を行なうように強調しておく。また、実験終了後、被験者に簡単に感想を聞いた (付録C参照)。

2.2 分析方法

分析には、被験者の合成音声に対する学習効果と慣れを考慮して (文献[2]参照)、実験で得られた120データのうち最初の15データを除く105データを使用した。また被験者毎に若干評価の偏りがみられたので、正規化を行なった。このようにして得られた評価値を、各文章において original、rules、simple rules の間で比較するため

(1) 文章毎にヒストグラムで表示し

(2) さらに、original と rules、original と simple rules、rules と simple rules の平均値の間に有意差があるかを危険率5%で検定した。[4][5]

(正規化、グラフ生成、平均値等の計算、検定手順については付録B.7、B.8を参照。) これらの結果を次節に示す。

2.3 分析結果及び考察

図 2.1 から図 2.5 に各文章に与えられた評価をヒストグラムで表示する。各図中で 3 つのヒストグラムは上から順に original、rules、simple rules の結果を表している。(縦軸は度数、横軸は正規化された評価値を示す。) また、表 2.1 から表 2.5 にそれぞれの平均値・分散値・平均値の検定結果を示す。

sentence1

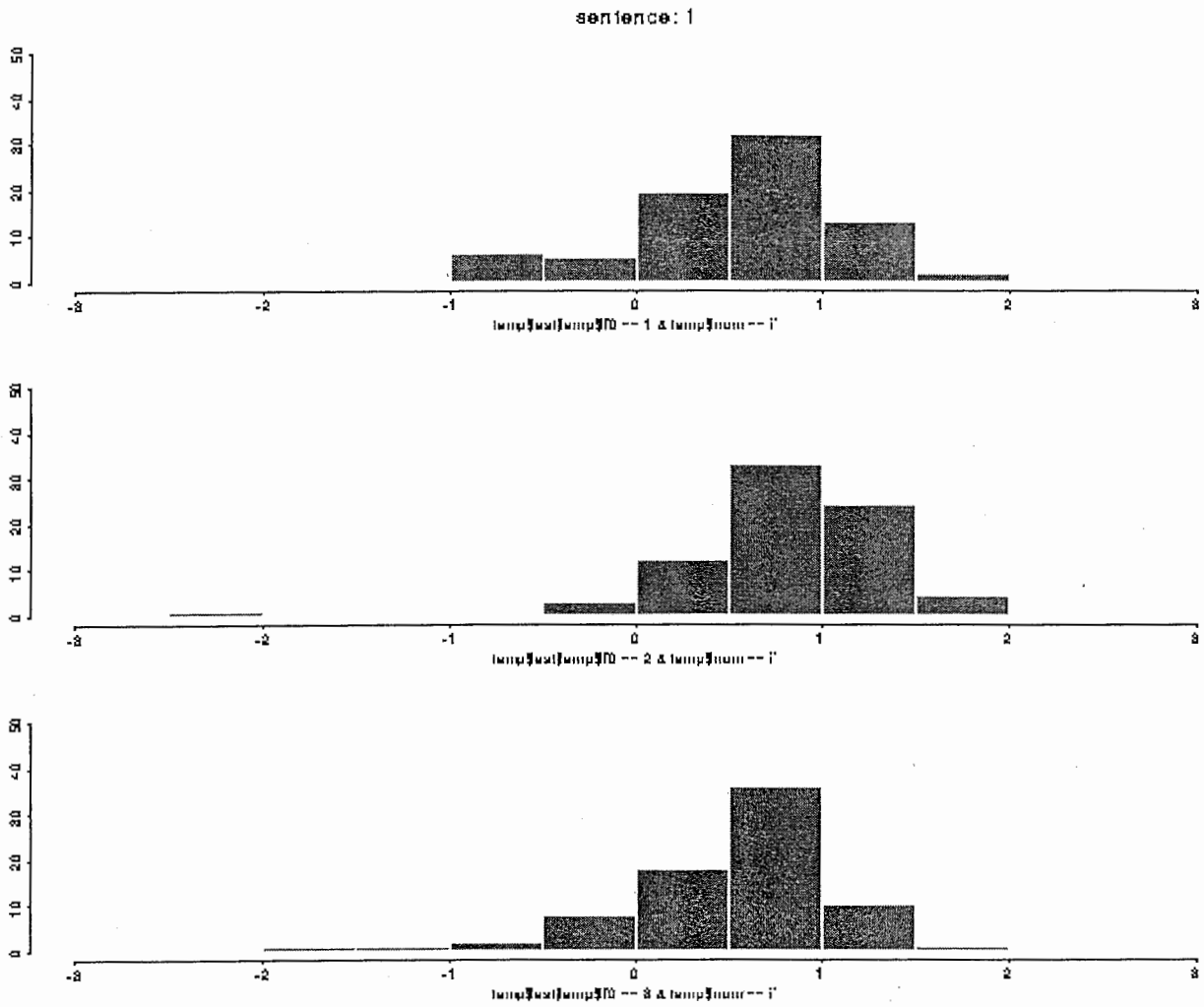


図 2.1 sentence1 「一週間ばかりニューヨークを取材した」

表 2.1 sentence1 における各合成音声の平均値・分散値・平均値の検定結果

sample	Mean	SD	significancy with original to	significancy with rules to
original	0.481	0.350	...	...
rules	0.777	0.355	O(>original)	...
simple rules	0.449	0.355	×	O

sentence2

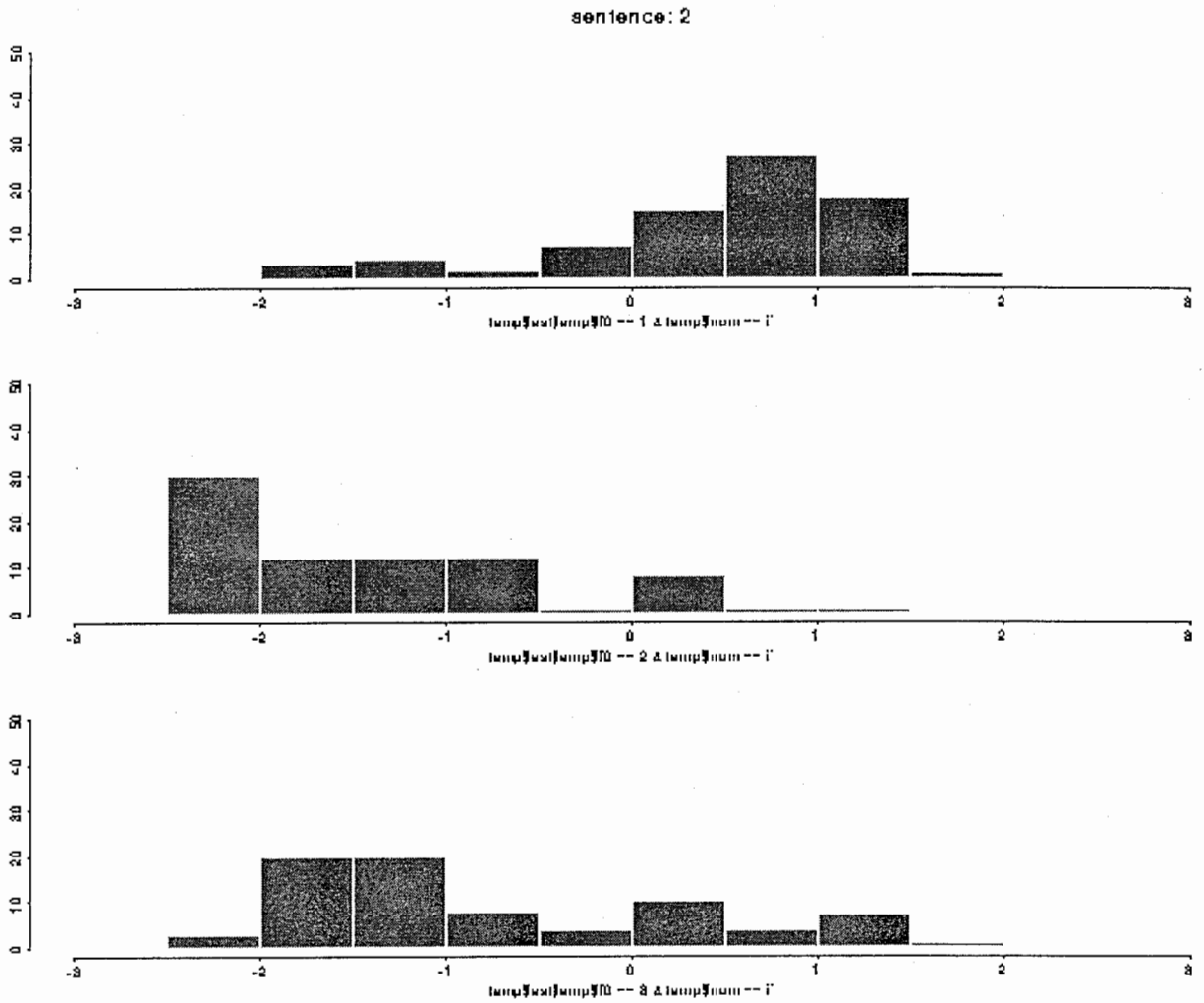


図 2.2 sentence2 「ちょっと遅い昼食をとるためファミリーレストランに入ったのです」

表 2.2 sentence2 における各合成音声の平均値・分散値・平均値の検定結果

sample	Mean	SD	significancy with original to	significancy with rules to
original	0.374	0.634	...	...
rules	-1.486	0.750	○	...
simple rules	-0.793	1.065	○	○ (>rules)

sentence3

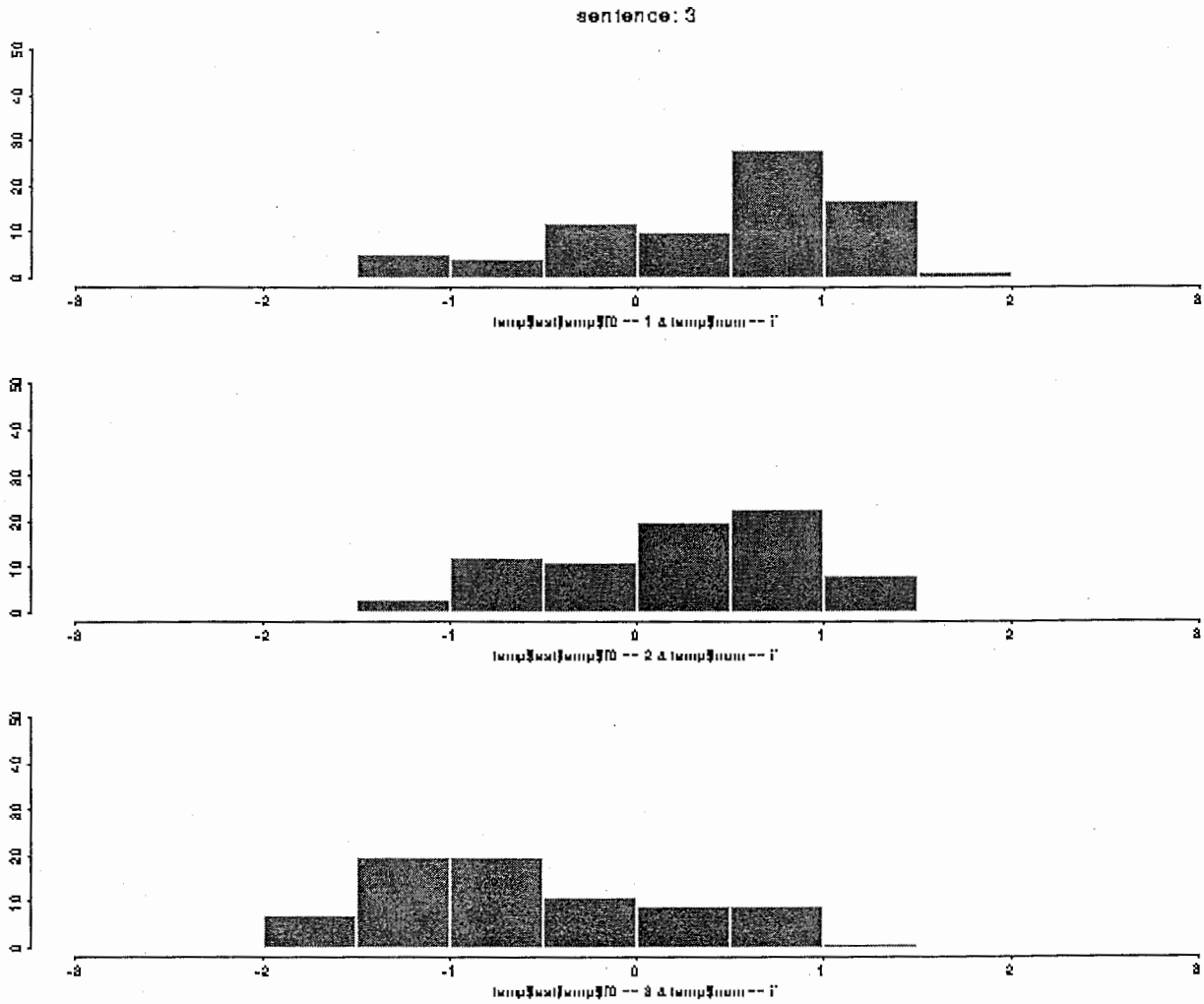


図 2.3 sentence3 「嬉しいはずがゆっくり寝てもいられない」

表 2.3 sentence3 における各合成音声の平均値・分散値・平均値の検定結果

sample	Mean	SD	significancy with original to	significancy with rules to
original	0.420	0.561	...	...
rules	0.113	0.469	○	...
simple rules	-0.661	0.624	○	○

sentence4

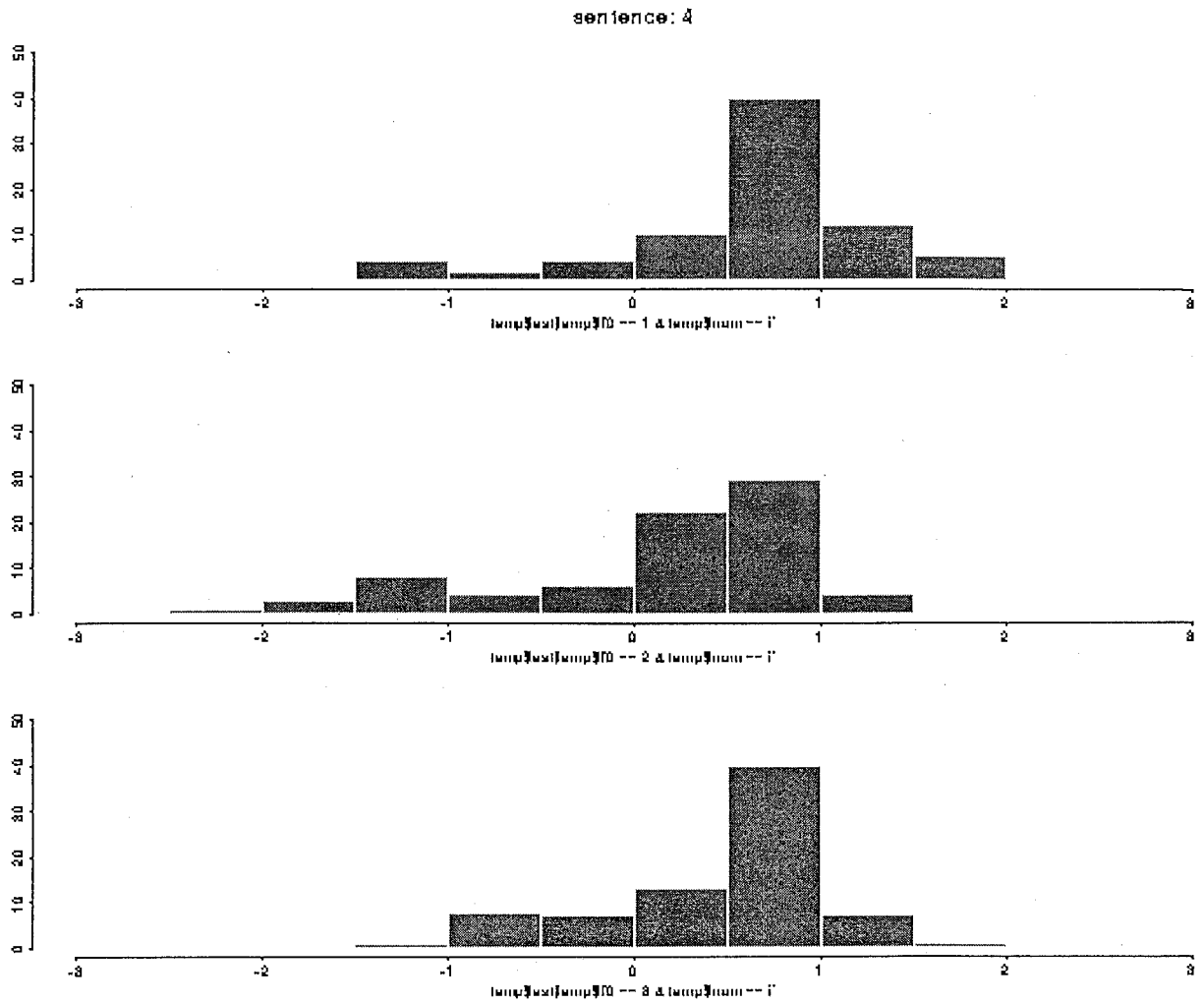


図 2.4 sentence4 「人間とは微妙で複雑な生き物である」

表 2.4 sentence4 における各合成音声の平均値・分散値・平均値の検定結果

sample	Mean	SD	significancy with original to	significancy with rules to
original	0.599	0.455	...	...
rules	0.038	0.624	○	...
simple rules	0.420	0.399	×	○ (>rules)

sentence5

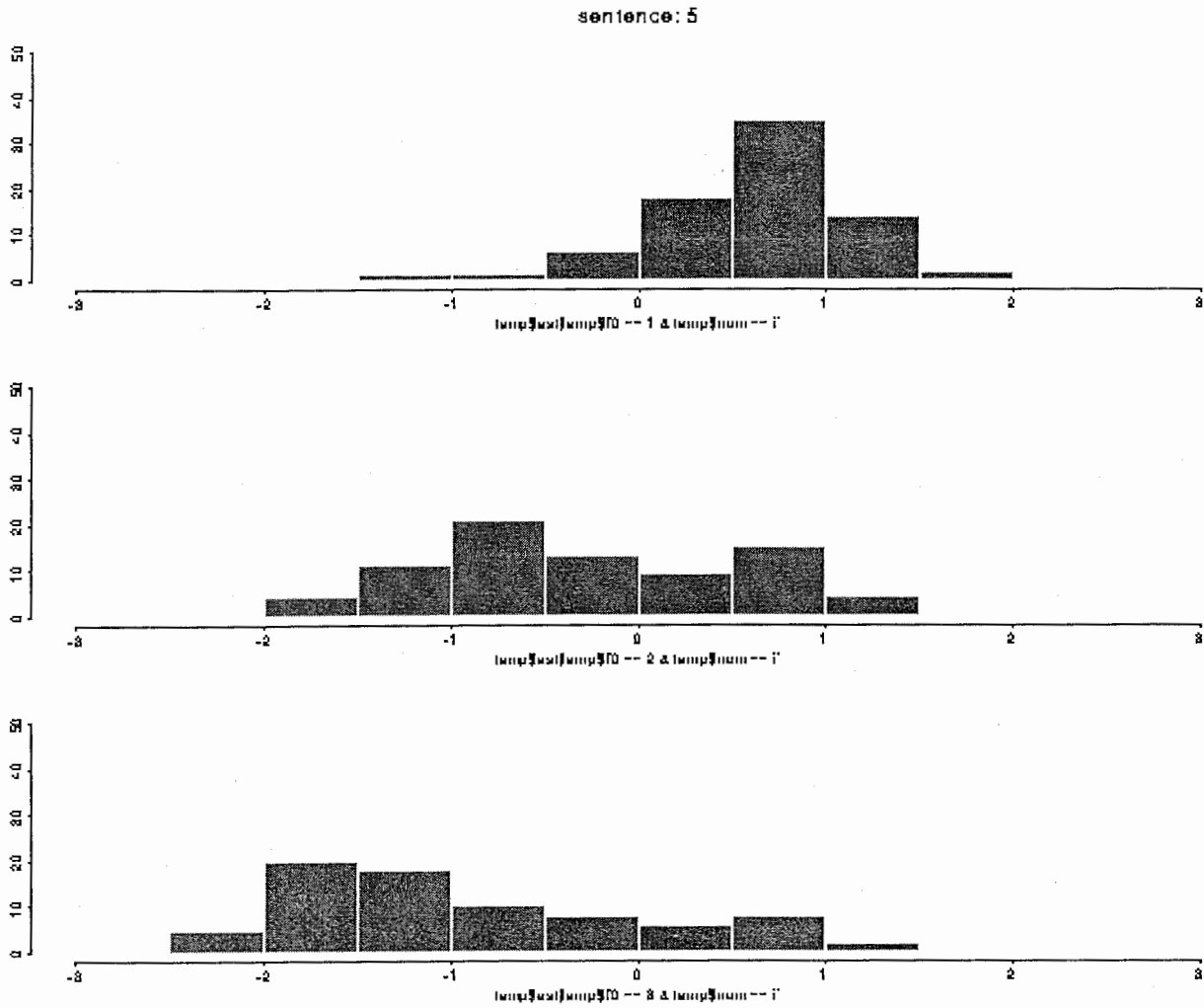


図 2.5 sentence5 「弟子に腕を支えられながら最後まで引き続けた」

表 2.5 sentence5 における各合成音声の平均値・分散値・平均値の検定結果

sample	Mean	SD	significancy with original to	significancy with rules to
original	0.588	0.306	...	...
rules	-0.359	0.632	○	...
simple rules	-0.961	0.844	○	○

以上の結果を次にまとめる。

- rules に与えられた評価値の平均は original に与えられたものに比べ、sentence1 においては高いほうに、sentence2～4 においては低い方に有意差が認められた。sentence1 で rules が original よりも高い評価を得た要因としては、original の抑揚が激しく、これが不自然さの原因になっていることが考えられる。
- sentence2 と sentence4 では rules に与えられた評価値は simple rules に与えられたものよりも低い方に有意差が認められた。
 - sentence2 においては、rules における「ファミリーレストラン」という複合語のアクセントが不自然だったため、文全体の評価に影響したものと考えられる。この文では後続のアクセント句「レストラン」(1型)のアクセント指令が大き過ぎるため、不自然さが明確であった。これは、学習データにおいて、0型アクセント句に1型アクセント句が続く場合に、1型のアクセント指令の値が大きくなる傾向があり、このことが規則化されてしまったことが原因であると思われる。このような規則化により、「0型+1型」のアクセント句の並びでの1型アクセントは、複合語であるかどうかに関わらず大きな値であると推定され、結果として sentence2 で見られたような不自然な F_0 パタンが付与されてしまったと考えられる。
 - sentence4 で rules が simple rules よりも低い評価が与えられたのは、rules における「微妙で」というアクセント句に影響を与えるフレーズ指令が大き過ぎ、イントネーションのバランスを崩した為と考えられる。
- 予備的検討ではアクセント型1、2型が含まれている文章ほど自然性が低くなることが観測された。しかし、必ずしも全ての1、2型が影響を与えているわけではなく、1、2型と不自然さとの間に相関があるとは断定できない。
- rules は文章毎に評価のばらつきがあるものの、5段階評価で見た場合、sentence2(複合語の入ったもの)以外は特に低い評価は与えられていない。(rules において sentence1 及び sentence3～5 に与えられた評価値を合計したものと sentence2 の間には平均値で 1.62 の差があった。)従って F_0 制御規則の推定度を上げるのはもちろんであるが、複合語が現れた場合の制御規則が加えられれば、これらの5文章に限り合成音声としては「自然である」とみなせるであろう。

3 まとめ

3.1 アクセント型0型のアクセント句に1型が続く複合語について

本文ではアクセント型0型に1型が続く複合語の場合、後続の1型のアクセント指令が大きくなる傾向があり、不自然さが明確であると述べた。しかし、方言によっては後続のアクセント句に強調がおかれる場合がある。実際に何人かの被験者からは「ファミリーレストランという単語は訛っているようにも聴こえ、自然かどうかの判断に悩む」という感想を得た。この種の複合語に対する違和感を「訛に対する違和感」と捉えるかどうかは議論の分かれるところであり、今後の課題としたい。

3.2 今回の聴取実験に関する問題点と課題

今回の聴取実験の主な目的は、 F_0 制御規則に基づく合成音声は自然であるとみなせるか(F_0 制御規則は自然な音声を合成するためには十分であるか)を調べるためであった。しかし、実験で得られたデータを F_0 制御規則の改善に十分役立てる為には、被験者に不自然だと感じた箇所を指摘してもらい違和感指摘試験も合わせて行なうべきであったと言える。何故なら、文章全体を評価する評価試験では、合成音声に低い評価が与えられた場合に文章の違和感だけが評価されるため、アクセント句間の違和感の要因分析までは行なえないからである。

この他にも(1)5段階評価は適切であったか、(2)評価する文章の種類は適切であったか、等の問題点が挙げられる。(1)に関しては参照できる評価の指標がなかったため、5段階評価ぐらいが適当であろうと考えて決定したのであるが、被験者からは3段階評価でもよいのではという感想も聞かれた。結果的に合成音毎の評価値の分布は概ねまとまっており、5段階の評価は適切であったと言えるだろう。ただし、評価3の「どちらとも言えない」は「判断できない」ということであり、「自然である」と「不自然である」との間に位置しないという問題がある。評価の指標の言葉自体が適切でないのでは、という意見もあった。(2)に関しては、実験には5種類の文章を用いたがこれだけでは文章数が少なく、一般的な結論は下せないという問題がある。しかし、被験者の負担、合成音声毎の標本数等を考慮すると5文章より多くすることは不適當であり、再考が必要である。

謝辞 実習に当たり御指導頂きましたATR音声翻訳通信研究所第二研究室の皆様、並びに今回の聴取実験に当たり御協力頂きました被験者の皆様に感謝致します。

参考文献

- [1] 平井・岩橋・樋口・匂坂, “統計的手法を用いた基本周波数パターン制御指令の自動分類”, 信学技法, sp94-12(1994,5)
- [2] 樋口・山本・清水, “パラメータ導出型日本語音声規則合成装置の評価”, 信学会論文誌 Vol.J72-D-II, No.8, pp.1133-1140(1989,8)
- [3] 平井・岩橋・樋口・匂坂, “種々の音声コーパスから自動生成された F_0 制御規則の違いについて”, 音響学会講演論文集, 2-5-3(1994,10)
- [4] 渡辺利夫著, S言語(オーム社)
- [5] 猪股清二著, 統計学ハンドブック(聖文社)

付録

付録 A プログラム・データリスト

	program	data
xsawa/ Work1/	select5	order.fn
	memo	order.num.f
	play_for_test	temp.thirai/temp.thirai.00*
		test/*.new
		test/*.newr
	test/*.test	
Work2/	makeswap	data/*.FMP
		data/*.FMP.rule
		acc.data
		ph.data
Work3/	makesound	*.wav.new
		*.wav.newr
Work4/	makes	wav/*.FMP.test
		wav/*.wav.test
Work5/	memo/memo	h_test/TMP.*
	h_test.memo	h_test/av_dis.f
	t_mean.f	data/hasimo/hasimo.ans_0
		data/hasimo/hasimo.ans_1
		data/hasimo/hasimo.ans_regu
		data/kitano/
		data/higuchi/
		data/matu/
		data/huji/
		data/ohnisi/
		data/itoh/
		data/oota/
		data/sakaji/
		data/izumi/
data/yokoya/		
psfile/		

- xsawa/Work1/order.f・・・聴取実験に使う 120 文章の順序を wave ファイル名で表したもの (B.2 参照)

```
A09wav.test
A25wav.test
A35wav.test
A02wav.test
A25wav.newr
```

ファイル内容

- xsawa/Work1/order.num.f・・・聴取実験に使う 120 文章の順序を番号で表したもの (1 カラム目: 文章、2 カラム目: F_0 パタンを表す。B.2 参照)

```
2 3
4 3
5 3
1 3
4 2
```

ファイル内容

- xsawa/Work2/data/*.FMP・・・thirai/data/Bset/MHT/LBL/*.FMP のコピー

```
ln(Fmin) : 4.050
phrase num : 3
phrase 0 : 0.087 0.450
phrase 1 : 1.005 0.650
phrase 2 : 1.919 0.350
accent num : 4
accent 0 : 0.265 1.009 0.308
accent 1 : 1.283 0.257 1.535
accent 2 : 2.075 0.352 2.505
accent 3 : 2.842 0.086 2.957
```

ファイル内容

- xsawa/Work2/acc.data・・・thirai/data/Bset/MHT_acu_acc のコピー

```
observe 0.538000 acu1 0.451903
observe 0.272000 acu1 0.283029
observe 0.381000 acu1 0.588410
```

ファイル内容

- xsawa/Work2/ph.data・・・thirai/data/Bset/MHT_acu_ph のコピー

```
observe 0.650000 acu1 0.583953
observe 0.600000 acu1 0.337727
observe 0.250000 acu1 0.312329
```

ファイル内容

- xsawa/Work5/data/hasimo/hasimo.ans_0・・・被験者 hasimo さんの回答 120 データ (1 カラム目: 5 段階評価の値)

```
2
4
2
4
4
```

ファイル内容

- xsawa/Work5/data/hasimo/hasimo.ans_1・・・被験者 hasimo さんの回答 105 データ (1 カラム目: 5 段階評価の値)

```
2
2
5
1
3
```

ファイル内容

- xsawa/Work5/data/hasimo/hasimo.ans_regu・・・正規化された被験者 hasimo さんの回答 105 データ (1 カラム目: 正規化された評価値)

```
-1.24889
-1.24889
1.39138
-2.12898
-0.368801
```

ファイル内容

- xsawa/Work5/h_test/av_dis.f・・・各合成音声に与えられた評価値の平均、分散の計算結果 (B.8 参照)
- xsawa/Work5/h_test/t_mean.f・・・各文章の original、rules、simple rules の間における平均値の有意差の検定結果 (B.8 参照)

付録 B プログラム

聴取実験及びデータ分析に使用したプログラムを B.1 ~ B.8 に示す。各プログラムは次の順序で使用した。

1. 合成音声作成に関するプログラム
xsawa/Work2/makeswap → xsawa/Work2/makesound
2. 聴取実験に関するプログラム
xsawa/Work1/select5 → xsawa/Work1/memo → xsawa/Work4/makes → xsawa/Work1/play_for_test
3. 評価データ分析に関するプログラム
xsawa/Work5/memo/memo → xsawa/Work5/h_test.memo

B.1 xsawa/Work1/select5 ©sed&awk プログラミング (アスキー出版局)

20 文章のうちからランダムに 5 文章を選ぶため、乱数で 1~20 の中から 5 つの数を選び出す。sed&awk プログラミング p.296、297 参照

```
#!/usr/local/bin/tcsh
gawk 'BEGIN{for(k=1;k<=20;++k) range[k]=k\
      srand();\
      for(j=1;j<=5;++j){select = 1 + int(rand()*20);\
          if(range[select]==""){ --j;continue}\
          pick[j] = select;\
          delete range[select];\
          print pick[j]}}'
```

結果的に A02、A09、A10、A25、A35 に決まった。

B.2 xsawa/Work1/memo ©平井

聴取実験の文章の順序を決めるため、不規則に並んだ 1 ~15 の数の列を 20 通り出す。これらのうちの 8 セットを適当に並べ替えて 120 文章の順序を決める。

OUTPUT : xsawa/Work1/temp.thirai/temp.thirai.00.*

```
==== sentence selection ====
set i = 1
set j = 1
while ( $j <= 20 )
  gawk 'BEGIN{srand(ARGV[1]); \
          for(i=1;i<=5;i++){for(j=1;j<=3;j++){ \
              print rand(), i, j}}}' $i | sort -n \
  | gawk 'old2==$2{flag=1} {print; old2=$2} \
          END{if(flag==1){print "ERROR"}else{print "OK"}}' > ! temp.thirai.00
  if ( 'tail -1 temp.thirai.00' == "OK" ) then
    \mv temp.thirai.00 temp.thirai.00.$j
```

```

        @ j = $j + 1
        echo '=====' j : $j
    endif
    @ i = $i + 1
    echo i : $i
end

foreach file ( temp.thirai.00.? )
    echo $file $file:r.0$file:e
    mv $file $file:r.0$file:e
end

set files = ( temp.thirai.00.* )
foreach file ($files)
    echo -n $file " "
    sed '$d' $file | sed -ne '1p;$p' | gawk '{printf $2 " " " } END{print ""}'
end
==== end sentence selection ====

```

結果的に 120 文章の順序は xsawa/Work1/order.fn,order.num.f に示される通りとなった。order.num.f では各文章を番号で、order.fn では wave ファイル名で表している。それぞれの対応は次の通りである。

order.num.f	order.fn
1	1
1	2
1	3
2	1
2	2
2	3
3	1
3	2
3	3
4	1
4	2
4	3
5	1
5	2
5	3

xsawa/Work1/order.fn に 1 ~ 120 の番号をふったものを以下に示す。

1	A09wav.test	31	A25wav.test	61	A25wav.new	91	A02wav.new
2	A25wav.test	32	A35wav.new	62	A02wav.newr	92	A25wav.newr
3	A35wav.test	33	A25wav.newr	63	A35wav.newr	93	A09wav.new
4	A02wav.test	34	A10wav.newr	64	A10wav.test	94	A10wav.newr
5	A25wav.newr	35	A02wav.new	65	A02wav.new	95	A02wav.test
6	A35wav.newr	36	A10wav.new	66	A10wav.new	96	A35wav.new
7	A02wav.new	37	A09wav.new	67	A35wav.test	97	A10wav.test
8	A10wav.test	38	A35wav.newr	68	A09wav.newr	98	A25wav.new
9	A09wav.new	39	A25wav.new	69	A02wav.test	99	A35wav.test
10	A10wav.new	40	A02wav.test	70	A09wav.new	100	A02wav.newr
11	A25wav.new	41	A10wav.test	71	A25wav.newr	101	A09wav.newr
12	A02wav.newr	42	A09wav.test	72	A09wav.test	102	A10wav.new
13	A10wav.newr	43	A02wav.newr	73	A25wav.test	103	A35wav.newr
14	A35wav.new	44	A09wav.newr	74	A10wav.newr	104	A25wav.test
15	A09wav.newr	45	A35wav.test	75	A35wav.new	105	A09wav.test
16	A10wav.test	46	A25wav.new	76	A02wav.newr	106	A25wav.newr
17	A09wav.test	47	A35wav.newr	77	A09wav.test	107	A10wav.new
18	A02wav.newr	48	A02wav.test	78	A02wav.new	108	A02wav.new
19	A09wav.newr	49	A09wav.test	79	A35wav.test	109	A09wav.new
20	A02wav.test	50	A10wav.test	80	A25wav.new	110	A35wav.new
21	A25wav.newr	51	A25wav.test	81	A02wav.test	111	A25wav.test
22	A10wav.new	52	A09wav.newr	82	A10wav.test	112	A02wav.newr
23	A02wav.new	53	A10wav.newr	83	A25wav.newr	113	A09wav.test
24	A35wav.new	54	A25wav.newr	84	A10wav.new	114	A25wav.new
25	A25wav.new	55	A02wav.newr	85	A09wav.new	115	A35wav.newr
26	A09wav.new	56	A10wav.new	86	A35wav.newr	116	A02wav.test
27	A35wav.newr	57	A02wav.new	87	A09wav.newr	117	A10wav.newr
28	A25wav.test	58	A35wav.new	88	A35wav.new	118	A09wav.newr
29	A35wav.test	59	A09wav.new	89	A25wav.test	119	A35wav.test
30	A10wav.newr	60	A35wav.test	90	A10wav.newr	120	A10wav.test

B.3 xsawa/Work1/play_for_test

聴取実験のためのテープを作成する。

```
INPUT : xsawa/Work1/test/*.new
        xsawa/Work1/test/*.newr
        xsawa/Work1/test/*.test
```

```
#!/usr/local/bin/tcsh
set filelist = ( `ls ~xsawa/Work1/test` )

set orders = ( `cat order` )
@ count = 0
foreach num ($orders)
    naplay -o mono -s 12000 -f raw -t 0.3 ~xsawa/sin.12K
    if ($count == 0) then
        naplay -o mono -s 12000 -f raw -t 0.3 ~xsawa/sin.12K
    endif
    naplay -o mono -s 12000 ~xsawa/Work1/test/$filelist[$num] &
    sleep 10
    @ count++
    if ($count == 5) then
```

```

        @ count = $count - 5
    endif
end

```

B.4 xsawa/Work2/makeswap

F₀ 制御規則により推定されたパラメータの FMP ファイル (*.FMP.rule) を作成する。

```

INPUT   : xsawa/Work2/data/*.FMP
          xsawa/Work2/acc.data
          xsawa/Work2/ph.data
OUTPUT  : xsawa/Work2/data/*.FMP.rule

#!/bin/csh

foreach file (*.FMP)
    gawk '{print FILENAME" "$0}' $file | cat - >> FMP.file
end

gawk '/acc/ && $3 !~ /num/{print}' FMP.file | paste - acc.data \
| gawk '$6+0 == $9 {print $1" "$2" "$3" "$4" "$5" "$NF" "$7}' > acc.tmp
gawk '/phr/ && $3 !~ /num/{print}' FMP.file | paste - ph.data \
| gawk '$6+0 == $8 {print $1" "$2" "$3" "$4" "$5" "$NF}' > ph.tmp

cat ph.tmp acc.tmp | sort > cat.tmp

foreach file (*.FMP)
    set label = $file
    gawk 'BEGIN{print "\n"}$0 ~ /'"$label"'&&/phr/ { $1="";print $0}' \
        cat.tmp > {$file}.new
    gawk 'BEGIN{print ""}$0 ~ /'"$label"'&&/acc/ { $1="";print $0}' \
        cat.tmp >>{$file}.new
    paste {$file} {$file}.new \
    | gawk '{if(NF<=4){print}else{for(i=1;i<=NF/2;i++)$i="";print}}' \
    | sed -e 's/^ *//' > {$file}.rule
end
rm *.tmp *.new FMP.file

```

B.5 xsawa/Work3/makesound ©澤 & 平井

wave ファイルを作成する。(original(*.wav.new)、rules(*.wav.newr))

```

INPUT   : xsawa/Work2/data/*.FMP
          xsawa/Work2/data/*.FMP.rule
          thirai/DB/Bset2/MHT/WAV/SD/*/*.12k
          thirai/DB/Bset2/MHT/LBL/SD/*/*.LB
OUTPUT  : xsawa/Work3/*.wav.new
          xsawa/Work3/*.wav.newr

#!/usr/local/bin/tcsh

if ($#argv != 2)then
    echo 'Usage: makesound alphabet[A-J] number ...'
    exit

```

```

endif
set alpha = $1
set num = $2
set file = /DB/Bset/MHT/WAV/SD/$1/MHT_SD_$1$2.12K
dd if=$file of=temp.wav conv=swab

fujisaki.pl 1000 < ~xsawa/Work2/data/MHT_SD_$1$2.FMP.rule \
|gawk '{print exp($1)}' > ! temp.f0_fuji1
fujisaki.pl 1000 < ~xsawa/Work2/data/MHT_SD_$1$2.FMP \
|gawk '{print exp($1)}' > ! temp.f0_fuji2

cut_label.pl 1 < /DB/Bset2/MHT/LBL/SD/$1/MHT_SD_$1$2.LB \
| grep '[auieowybdgmnNr]' \
| grep -v pau \
| grep -v 'sh,i' \
| grep -v 's,u' \
| gawk '{for(i=int($1/5);i<=int($3/5);i++){print i}}' \
| uniq \
| gawk '{print $1 's/./v &/'}' > ! temp.sed

/usr/gnu/bin/sed -f temp.sed temp.f0_fuji1 \
| gawk '{if(/v/){print $2}else{print 0}}' > ! temp.f0_fuji1_new
/usr/gnu/bin/sed -f temp.sed temp.f0_fuji2 \
| gawk '{if(/v/){print $2}else{print 0}}' > ! temp.f0_fuji2_new

float2asc.pl 32 < temp.cep | paste.pl temp.f0_fuji1_new - \
| gawk 'NF==33{$2}''';if($1!=0){$1=12000/$1}print}' \
| asc2float.pl > ! temp.cep_new1
float2asc.pl 32 < temp.cep | paste.pl temp.f0_fuji2_new - \
| gawk 'NF==33{$2}''';if($1!=0){$1=12000/$1}print}' \
| asc2float.pl > ! temp.cep_new2

cepsynf temp.cep_new1 $1$2wav.newr
cepsynf temp.cep_new2 $1$2wav.new
mv temp.wav $1$2wav.org
rm temp.*

echo xnaplay -F\'-o mono -s 12000\' $1$2wav.org $1$2wav.newr $1$2 wav.new \&

```

B.6 xsawa/Work4/makes ©澤 & 平井

simple rules の wave ファイル (*.wav.test) を作成する。

```

INPUT   : xsawa/Work4/wav/*.FMP.test
          thirai/DB/Bset2/MHT/WAV/SD/*/*.12k
          thirai/DB/Bset2/MHT/LBL/SD/*/*.LB
OUTPUT  : xsawa/Work4/wav/*.wav.test

```

```

#####      make wave files based on      #####
#####      FMP files under the same      #####
#####      directory                       #####

```

```
#!/usr/local/bin/tcsh
```

```
set dir = $1
cd $dir/
set nfiles

set filelist = ('ls | grep MHT')
echo $filelist
foreach files ($filelist)
set file_1 = $files:s/MHT_SD_//
set file_2 = $file_1:s/.FMP.test//
set alpha = 'echo $file_2 | sed 's/..$//''
set num = 'echo $file_2 | sed 's/^..//''
set file = /DB/Bset2/MHT/WAV/SD/$alpha/MHT_SD_$alpha$num.12K

dd if=$file of=temp.wav conv=swab
cepanaf temp.wav temp.cep

fujisaki.pl 1000 < ~xsawa/Work4/$dir/$files\
  | gawk '{print exp($1)}' > ! temp.f0_fuji

cut_label.pl 1 < /DB/Bset2/MHT/LBL/SD/$alpha/MHT_SD_$alpha$num.LB \
  | grep '[auieoybdgmnNrj]' \
  | grep -v pau \
  | grep -v 'sh' \
  | grep -v 'h,i' \
n  | grep -v 'k,i' \
  | grep -v 's,u' \
  | grep -v 'f,u' \
  | gawk '{for(i=int($1/5);i<=int($3/5);i++){printf("%04d\n",i+1)}}' \
  > ! temp.sed_
cut_label.pl 2 < /DB/Bset2/MHT/LBL/SD/$alpha/MHT_SD_$alpha$num.LB \
  | grep '[w]' \
  | gawk '{for(i=int($1/5);i<=int($3/5);i++){printf("%04d\n",i+1)}}' \
  | cat - temp.sed_ \
  | sort -u \
  | sed -e 's/~00*//g' \
  | gawk '{print $1 "s/./v &/"}' > ! temp.sed

/usr/gnu/bin/sed -f temp.sed temp.f0_fuji\
  | gawk '{if(/v/){print $2}else{print 0}}' > ! temp.f0_fuji_new

float2asc.pl 32 < temp.cep | paste.pl temp.f0_fuji_new - \
  | gawk 'NF==33{$2="";if($1!=0){$1=12000/$1}print}' \
  | asc2float.pl > ! temp.cep_new

cepsynf temp.cep_new $alpha${num}$dir.{ $files:e}
set nfiles = ($nfiles $alpha${num}$dir.{ $files:e})
end
echo $nfiles
rm temp.*
xnaplay -F'-o mono -f raw -s 12000' $nfiles
```

B.7 xsawa/Work5/memo/memo

データの分析 (評価の正規化・ヒストグラム表示) を行なう。

正規化手順

被験者毎に、評価値 X_i が $N(a, b^2)$ の正規分布に従うと仮定し、正規化した値 Y を $Y = \frac{X_i - a}{b}$ で定める。

```
INPUT   : xsawa/Work5/data/hasimo/hasimo.ans_0,hasimo.ans_1,hasimo.ans_regu
          xsawa/Work5/data/kitano/
          xsawa/Work5/data/higuchi/
          xsawa/Work5/data/matu/
          xsawa/Work5/data/huji/
          xsawa/Work5/data/ohnisi/
          xsawa/Work5/data/itoh/
          xsawa/Work5/data/oota/
          xsawa/Work5/data/sakaji/
          xsawa/Work5/data/izumi/
          xsawa/Work5/data/yokoya/
          xsawa/Work1/order.num.f

OUTPUT  : xsawa/Work5/psfile/
```

```
set persons = ( hasimo higuchi huji itoh izumi kitano matu ohnisi oota \
                sakaji yokoya)
foreach file ($persons)
cd Work5/data
```

```
===== make order.num.data_105 =====
sed '1,15d' ~xsawa/Work1/order.num.f > order.num.data_105
===== end of make order.num.data_105 =====
```

```
===== cut 15 data -> paste -> make $file.data_105 =====
sed '1,15d' $file/$file.ans_0 > ! $file/$file.ans_1
paste order.num.data_105 $file/$file.ans_1 >! $file/$file.data_105
===== end of cut 15 data -> paste -> make $file.data_105 =====
```

```
===== regularization =====
gawk '{x = x + $1};END{print x/105}' $file/$file.ans_1 \
| cat - $file/$file.ans_1 \
| gawk 'NR==1{avg=$1};NR!=1{mean=($1-avg)*($1-avg)+mean}; \
      END{S=sqrt(mean/105);print avg" "S}' \
| cat - $file/$file.ans_1 \
| gawk 'NR==1{avg = $1; S = $2}; \
      NR!=1{new=($1-avg)/S;print new}' \
> ! $file/$file.ans_regu
end
===== end of regularization =====
```

```
===== addition =====
echo -n "" > ! temp.regu
foreach file ($persons)
  echo $file
  gawk '{print $1,$2}' $file/$file.data_105 \
    | paste - $file/$file.ans_regu >> ! temp.regu
end
===== end of addition =====
```

```

===== call Splus =====
/usr/local/Splus/Splus
===== end of call Splus =====

===== Splus =====
temp<-scan("/home/as61/xsawa/Work5/data/temp.regu",list(num=0,f0=0,est=0))
/* num: 文章番号 1:A02、 f0:f0の種類 1:original      est: 正規化された評価値 */
/*          2:A09                2:rules                */
/*          3:A10                3:simple rules          */
/*          4:A25                */
/*          5:A35                */
X11()
par (mfrow=c(3,1))
ylim<- c(0,50)
xlim<- c(-3,3)
i<- 5
hist(main = paste( "sentence:",i),
      temp$est[temp$f0 ==1 & temp$num == i],ylim=ylim,xlim=xlim)
hist(temp$est[temp$f0 ==2 & temp$num == i],ylim=ylim,xlim=xlim)
hist(temp$est[temp$f0 ==3 & temp$num == i],ylim=ylim,xlim=xlim)
===== end of Splus =====

```

B.8 xsawa/Work5/h_test.memo

データの分析(各文章における評価値の平均、分散の計算、並びに平均値の検定の計算)を行なう。

検定手順

任意の無限母集団 A、B から抽出された標本 N_A 、 N_B においてそれぞれの標本平均が X_A 、 X_B 、標準偏差が S_A 、 S_B であるとする。このとき A、B の母平均 μ_A 、 μ_B の等不等の検定を以下のように行なう。

仮説「 $\mu_A = \mu_B$ 」に対し、危険率 α で検定を行なう場合、

$$\frac{|X_A - X_B|}{\sqrt{\frac{S_A^2}{N_A} + \frac{S_B^2}{N_B}}} > Z_{\frac{\alpha}{2}} \quad \text{ならば仮説を棄却する。}$$

ただし Z_a は下側確率が $1 - a$ のときの平均が 0 で標準偏差が 1 の正規分布の確率点を表す。(©統計学ハンドブック(聖文社)p.128,129 参照) 今回は危険率 5% でこの検定を行なった。

```

INPUT   : xsawa/Work5/h_test/TMP.*
OUTPUT  : xsawa/Work5/h_test/av_dis.f
          xsawa/Work5/h_test/t_mean.f

```

```

===== mean and variance of each sentence =====
#! /usr/local/bin/tcsh

echo -n"" >! TMP2.f
foreach sent ( 1 2 3 4 5 )
  foreach att (1 2 3 )
    echo $sent $att | cat - ~xsawa/Work5/data/temp.regu | \
    gawk 'NR==1{sent=$1;att=$2}; \
         NR!=1{if($1==sent && $2==att) print $3}' \
    > ! TMP{$sent}{$att}.f
    gawk '{printf("%f ",$1)}' TMP.f | line.pl -average -sigma \

```



```

        >> ! TMP2.f
    end
end

gawk '{print $1,$2*$2}' TMP2.f > ! av_dis.f
===== mean and variance of each sentence =====

foreach sent (1 2 3 4 5)
    paste TMP{$sent}1.f TMP{$sent}2.f >! T{$sent}1_{$sent}2.f
    paste TMP{$sent}1.f TMP{$sent}3.f >! T{$sent}1_{$sent}3.f
    paste TMP{$sent}2.f TMP{$sent}3.f >! T{$sent}2_{$sent}3.f
end
===== Splus =====
/usr/local/Splus/Splus
qnorm(0.975,0,1) → 1.959964
/*qnorm(0.95,0,1): 下側確率が0.95のときの平均が0で標準偏差が1の正規分布の
確率点を計算する*/
===== end of Splus =====

===== population mean =====
echo -n "" >! t_mean.f
echo "*****" >>! t_mean.f
echo "** population mean **" >>! t_mean.f
echo "*****" >>! t_mean.f
foreach i (1 4 7 10 13 )
    @ j = 1
    while ( $j <= 3)
        echo $i $j | cat - av_dis.f | \
            gawk 'NR==1{sent = $1; roop = $2}; \
                {if(roop == 1){if(NR==1+sent){x1=$1;x2=$2} \
                    if(NR==2+sent){y1=$1;y2=$2};ss = 1; rr = 2}
                    if(NR==3+sent){y1=$1;y2=$2};ss = 1; rr = 3}
                    if(NR==3+sent){y1=$1;y2=$2};ss = 2; rr = 3}
                END{abs = x1-y1;if(abs < 0)abs = -1*abs; \
                    ans = abs/sqrt((x2+y2)/77); \
                    if(ans > 1.959964) \
                        print ss,rr,"1.95996",ans,"significant"; \
                    else print ss,rr,"1.95996",ans,"not significant"}' \
                >> ! t_mean.f
        @ j++
    end
end
===== end of population mean =====

===== end of test of hypothesis =====

```

これらの実行結果 (av_dis.f、 t_mean.f) を以下に示す。

- xsawa/Work5/h_test/av_dis.f …… 各行は sentence1～5 の original、 rules、 simple rules の結果を順に表す。(1 カラム目：平均値、 2 カラム目：分散値)

0.48092498701298702635	0.350224
0.77711253246753309032	0.355488
0.44936670129870132095	0.354888
0.37353828571428582261	0.633928
-1.4861946883116878837	0.750095
-0.7931984675324671441	1.06523
0.42012072727272714578	0.560843
0.1131658441558442002	0.469302
-0.66056880519480487557	0.623779
0.59947733766233757269	0.454745
0.037806831168831170342	0.623894
0.42085505194805178375	0.399033
0.58760779220779202348	0.306339
-0.35936096103896120191	0.632481
-0.96063933766233766676	0.844312

- xsawa/Work5/h_test/t_mean.f・・・各行は sentence1～5 における original と ruels、original と simple rules、rules と simple rules の間の平均値の等不等の検定結果を示す。

```
*****
* population mean **
*****
1 2 1.95996 3.09384 significant
1 3 1.95996 0.329784 not significant
2 3 1.95996 3.41223 significant
1 2 1.95996 13.8715 significant
1 3 1.95996 7.85419 significant
2 3 1.95996 4.51335 significant
1 2 1.95996 2.65382 significant
1 3 1.95996 8.71277 significant
2 3 1.95996 6.49398 significant
1 2 1.95996 4.74558 significant
1 3 1.95996 1.69632 not significant
2 3 1.95996 3.32335 significant
1 2 1.95996 8.5761 significant
1 3 1.95996 12.6653 significant
2 3 1.95996 4.34171 significant
```

(1、2 カラム目： F_0 バタン (1:original,2:rules,3:simple rules)、

3 カラム目： $Z_{\frac{\alpha}{2}}$ の値、

4 カラム目： $\frac{|X_A - X_B|}{\sqrt{\frac{S_A^2}{N_A} + \frac{S_B^2}{N_B}}}$ の値

5 カラム目：検定結果 (significant: 有意差あり、not significant : 有意差なし))

付録 C 聴取実験の回答用紙

聴取実験で使用した回答用紙を付録として付け加えておく。(回答用紙の tex ファイルは xsawa/Work5/textfile/p です。)

この調査は、発話の自然性を調べるためのものです

	自然だと感じられれば	5	
	おおむね自然だと感じられれば	4	
テープから流れる声の話し方が	どちらとも言えなければ	3	に○を付
	やや不自然だと感じられれば	2	
	極めて不自然だと感じられれば	1	

けてください。

時間は約30分です。

尚、毎回ビープ音が1回、5回毎にビープ音が2回鳴りますので、ずれないように確認して下さい。

注) 音声のイントネーションにのみ注目して下さい。

極めて やや どちらとも おおむね
不自然 不自然 言えない 自然 自然

〇〇	1	ちょっと遅い...	1	2	3	4	5
○	2	人間とは...	1	2	3	4	5
○	3	弟子に腕を...	1	2	3	4	5
○	4	一週間ばかり...	1	2	3	4	5
○	5	人間とは...	1	2	3	4	5
〇〇	6	弟子に腕を...	1	2	3	4	5
○	7	一週間ばかり...	1	2	3	4	5
○	8	嬉しいはずが...	1	2	3	4	5
○	9	ちょっと遅い...	1	2	3	4	5
○	10	嬉しいはずが...	1	2	3	4	5
〇〇	11	人間とは...	1	2	3	4	5
○	12	一週間ばかり...	1	2	3	4	5
○	13	嬉しいはずが...	1	2	3	4	5
○	14	弟子に腕を...	1	2	3	4	5
○	15	ちょっと遅い...	1	2	3	4	5
〇〇	16	嬉しいはずが...	1	2	3	4	5
○	17	ちょっと遅い...	1	2	3	4	5
○	18	一週間ばかり...	1	2	3	4	5
○	19	ちょっと遅い...	1	2	3	4	5
○	20	一週間ばかり...	1	2	3	4	5
〇〇	21	人間とは...	1	2	3	4	5
○	22	嬉しいはずが...	1	2	3	4	5
○	23	一週間ばかり...	1	2	3	4	5
○	24	弟子に腕を...	1	2	3	4	5
○	25	人間とは...	1	2	3	4	5
〇〇	26	ちょっと遅い...	1	2	3	4	5
○	27	弟子に腕を...	1	2	3	4	5
○	28	人間とは...	1	2	3	4	5
○	29	弟子に腕を...	1	2	3	4	5
○	30	嬉しいはずが...	1	2	3	4	5

極めて やや どちらとも おおむね
不自然 不自然 言えない 自然 自然

○○	3 1	人間とは...	1	2	3	4	5
○	3 2	弟子に腕を...	1	2	3	4	5
○	3 3	人間とは...	1	2	3	4	5
○	3 4	嬉しいはずが...	1	2	3	4	5
○	3 5	一週間ばかり...	1	2	3	4	5
○○	3 6	嬉しいはずが...	1	2	3	4	5
○	3 7	ちょっと遅い...	1	2	3	4	5
○	3 8	弟子に腕を...	1	2	3	4	5
○	3 9	人間とは...	1	2	3	4	5
○	4 0	一週間ばかり...	1	2	3	4	5
○○	4 1	嬉しいはずが...	1	2	3	4	5
○	4 2	ちょっと遅い...	1	2	3	4	5
○	4 3	一週間ばかり...	1	2	3	4	5
○	4 4	ちょっと遅い...	1	2	3	4	5
○	4 5	弟子に腕を...	1	2	3	4	5
○○	4 6	人間とは...	1	2	3	4	5
○	4 7	弟子に腕を...	1	2	3	4	5
○	4 8	一週間ばかり...	1	2	3	4	5
○	4 9	ちょっと遅い...	1	2	3	4	5
○	5 0	嬉しいはずが...	1	2	3	4	5
○○	5 1	人間とは...	1	2	3	4	5
○	5 2	ちょっと遅い...	1	2	3	4	5
○	5 3	嬉しいはずが...	1	2	3	4	5
○	5 4	人間とは...	1	2	3	4	5
○	5 5	一週間ばかり...	1	2	3	4	5
○○	5 6	嬉しいはずが...	1	2	3	4	5
○	5 7	一週間ばかり...	1	2	3	4	5
○	5 8	弟子に腕を...	1	2	3	4	5
○	5 9	ちょっと遅い...	1	2	3	4	5
○	6 0	弟子に腕を...	1	2	3	4	5

極めて やや どちらとも おおむね
 不自然 不自然 言えない 自然 自然

○○	6 1	人間とは...	1	2	3	4	5
○	6 2	一週間ばかり...	1	2	3	4	5
○	6 3	弟子に腕を...	1	2	3	4	5
○	6 4	嬉しいはずが...	1	2	3	4	5
○	6 5	一週間ばかり...	1	2	3	4	5
○○	6 6	嬉しいはずが...	1	2	3	4	5
○	6 7	弟子に腕を...	1	2	3	4	5
○	6 8	ちょっと遅い...	1	2	3	4	5
○	6 9	一週間ばかり...	1	2	3	4	5
○	7 0	ちょっと遅い...	1	2	3	4	5
○○	7 1	人間とは...	1	2	3	4	5
○	7 2	ちょっと遅い...	1	2	3	4	5
○	7 3	人間とは...	1	2	3	4	5
○	7 4	嬉しいはずが...	1	2	3	4	5
○	7 5	弟子に腕を...	1	2	3	4	5
○○	7 6	一週間ばかり...	1	2	3	4	5
○	7 7	ちょっと遅い...	1	2	3	4	5
○	7 8	一週間ばかり...	1	2	3	4	5
○	7 9	弟子に腕を...	1	2	3	4	5
○	8 0	人間とは...	1	2	3	4	5
○○	8 1	一週間ばかり...	1	2	3	4	5
○	8 2	嬉しいはずが...	1	2	3	4	5
○	8 3	人間とは...	1	2	3	4	5
○	8 4	嬉しいはずが...	1	2	3	4	5
○	8 5	ちょっと遅い...	1	2	3	4	5
○○	8 6	弟子に腕を...	1	2	3	4	5
○	8 7	ちょっと遅い...	1	2	3	4	5
○	8 8	弟子に腕を...	1	2	3	4	5
○	8 9	人間とは...	1	2	3	4	5
○	9 0	嬉しいはずが...	1	2	3	4	5

極めて やや どちらとも おおむね
不自然 不自然 言えない 自然 自然

〇〇	9 1	一週間ばかり...	1	2	3	4	5
○	9 2	人間とは...	1	2	3	4	5
○	9 3	ちょっと遅い...	1	2	3	4	5
○	9 4	嬉しいはずが...	1	2	3	4	5
○	9 5	一週間ばかり...	1	2	3	4	5
〇〇	9 6	弟子に腕を...	1	2	3	4	5
○	9 7	嬉しいはずが...	1	2	3	4	5
○	9 8	人間とは...	1	2	3	4	5
○	9 9	弟子に腕を...	1	2	3	4	5
○	1 0 0	一週間ばかり...	1	2	3	4	5
〇〇	1 0 1	ちょっと遅い...	1	2	3	4	5
○	1 0 2	嬉しいはずが...	1	2	3	4	5
○	1 0 3	弟子に腕を...	1	2	3	4	5
○	1 0 4	人間とは...	1	2	3	4	5
○	1 0 5	ちょっと遅い...	1	2	3	4	5
〇〇	1 0 6	人間とは...	1	2	3	4	5
○	1 0 7	嬉しいはずが...	1	2	3	4	5
○	1 0 8	一週間ばかり...	1	2	3	4	5
○	1 0 9	ちょっと遅い...	1	2	3	4	5
○	1 1 0	弟子に腕を...	1	2	3	4	5
〇〇	1 1 1	人間とは...	1	2	3	4	5
○	1 1 2	一週間ばかり...	1	2	3	4	5
○	1 1 3	ちょっと遅い...	1	2	3	4	5
○	1 1 4	人間とは...	1	2	3	4	5
○	1 1 5	弟子に腕を...	1	2	3	4	5
〇〇	1 1 6	一週間ばかり...	1	2	3	4	5
○	1 1 7	嬉しいはずが...	1	2	3	4	5
○	1 1 8	ちょっと遅い...	1	2	3	4	5
○	1 1 9	弟子に腕を...	1	2	3	4	5
○	1 2 0	嬉しいはずが...	1	2	3	4	5