

TR-I-0073

スペクトログラム・リーディングに基づく  
音韻セグメンテーション知識

Phoneme segmentation knowledge  
based on spectrogram reading

畑崎香一郎 小森康弘  
Kaichiro Hatazaki, Yasuhiro Komori

1989. 3

#### 概要

スペクトログラム・リーディングの手法および知識を用いて、連続音声中の音韻セグメンテーションを行うエキスパートシステムを構築した。このシステムは汎用エキスパートシステム構築ツールであるARTを用いて構築しており、専門家の知識、戦略はARTのルールとして記述される。本報告書では、このシステムに組み込んでいる日本語子音のセグメンテーション・ルールの意味、動作を述べる。

ATR 自動翻訳電話研究所

ATR Interpreting Telephony Research Laboratories

© (株)ATR 自動翻訳電話研究所 1989

© 1989 by ATR Interpreting Telephony Research Laboratories

## 目次

1. はじめに	1
2. 音韻セグメンテーションの戦略	2
3. セグメンテーション・ルールの構成	4
4. セグメンテーション・ルール	5
4.1 無声破裂音(p, t, k, ch, ts)	6
4.1.1 概略	6
4.1.2 音韻候補の検出	6
4.1.3 音韻環境の仮説	7
4.1.4 音韻境界の検出、評価	10
4.1.5 音韻境界の再評価、競合解消	23
4.2 無声摩擦音(s, sh)	24
4.2.1 概略	24
4.2.2 音韻候補の検出	24
4.2.3 音韻環境の仮説	25
4.2.4 音韻境界の検出、評価	26
4.2.5 音韻境界の再評価、競合解消	35
4.3 気音(h)	37
4.3.1 概略	37
4.3.2 音韻候補の検出	37
4.3.3 音韻環境の仮説	38
4.3.4 音韻境界の検出、評価	38
4.3.5 音韻境界の再評価、競合解消	44
4.4 有声摩擦音(z)	45
4.4.1 概略	45
4.4.2 音韻候補の検出	45
4.4.3 音韻環境の仮説	45
4.4.4 音韻境界の検出、評価	46
4.5 鼻音(m,n,g)	50
4.5.1 概略	50
4.5.2 音韻候補の検出	50
4.5.3 音韻環境の仮説	50
4.5.4 音韻境界の検出、評価	51
4.5.5 音韻境界の再評価、競合解消	59
4.6 有声破裂音(b,d,g)	61
4.6.1 概略	61
4.6.2 音韻候補の検出	61
4.6.3 音韻環境の仮説	62
4.6.4 音韻境界の検出、評価	63
4.6.5 音韻境界の再評価、競合解消	70
4.7 流音(r)	71
4.7.1 概略	71
4.7.2 音韻候補の検出	71

4.7.3 音韻環境の仮説 .....	71
4.7.4 音韻境界の検出、評価 .....	72
4.7.5 音韻境界の再評価、競合解消 .....	73
4.8 音韻カテゴリ間の統合 .....	75
4.8.1 概略 .....	75
4.8.2 音韻カテゴリとその区間の決定 .....	75

付録1	CfTable一覧
付録2	Source

# 1. はじめに

スペクトログラム・リーディングの知識、戦略を用いて音韻セグメンテーションを行うエキスパート・システムを構築し、日本語子音セグメンテーション知識を組み込んだ。このシステムは汎用エキスパートシステム構築ツールであるART(ART)を用いて構築しており、専門家の知識、戦略はARTのルールとして記述される。音韻環境に依存する知識と非決定的な戦略はARTの仮説推論機構を用いて表現し、知識の不確実性とファジィ性は確信度およびファジィ集合の考えによって表現した。また、スペクトログラム特徴は、ルールによって参照されるときにスペクトログラムから抽出され、従って音韻環境に応じた適切な抽出方法およびパラメータがルール中に記述される。

本報告では、このシステムに組み込んだ日本語子音セグメンテーションのための各ルールの意味と動作を述べる。

## 2. 音韻セグメンテーションの戦略

スペクトログラム・リーディングの知識、戦略に基づく音韻セグメンテーションは、大まかには図1に示すように(1)音韻候補の検出、(2)音韻環境の仮説、(3)音韻境界の検出とその確からしさの評価、(4)音韻境界の選択の順序で行われる。

### (1) 音韻候補の検出

音韻クラス毎に、各音韻クラスを特徴付けるスペクトログラム特徴を参照することによって音韻のおおよその位置を捜し、音韻候補として仮説する。同時に、検出に用いた特徴とさらにいくつかのスペクトログラム特徴からその音韻クラスであることの確信度を計算し、音韻候補の確信度とする。音韻クラスを表1に示す。この段階では非常に大まかなスペクトログラム

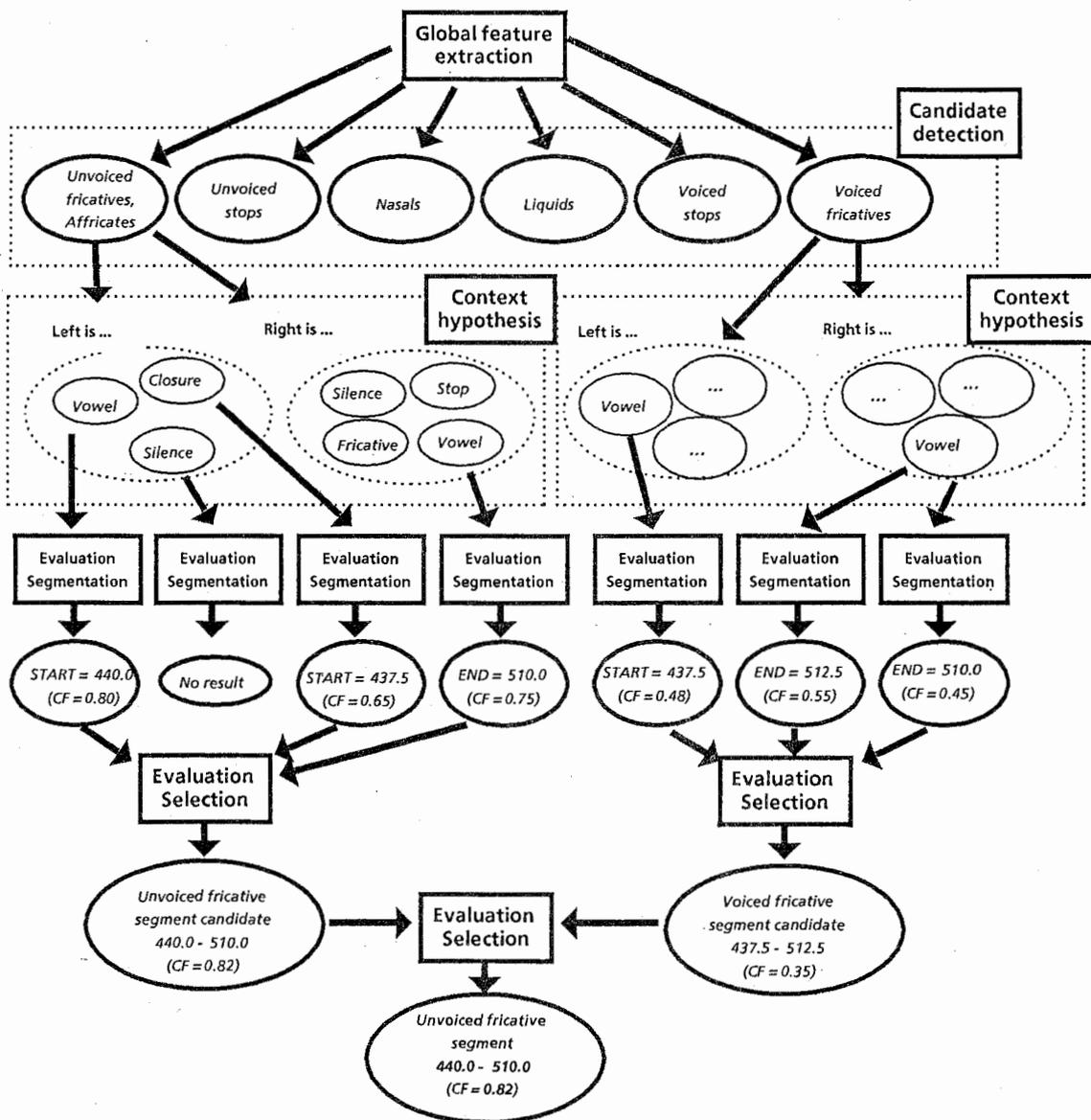


図2 セグメンテーションの戦略

Fig. 2 Segmentation strategy.

表1 音韻クラス

Fig. 1 Phoneme classes.

音韻クラス	音韻
無声破裂音	<i>p, t, k, ts, ch</i>
有声破裂音	<i>b, d, g</i>
無声摩擦音	<i>s, sh</i>
気音	<i>h</i>
有声摩擦音	<i>z</i>
鼻音	<i>m, n</i>
流音	<i>r</i>

特徴での検出を行うため、余計な音韻候補が仮説されたり、同じ位置に複数の異なる音韻クラスの音韻候補が仮説される。

#### (2) 音韻環境の仮説

仮説された音韻候補のそれぞれに対して、音韻環境すなわち左右の音韻の種類と典型的な音韻変形を仮説する。

#### (3) 音韻境界の検出とその確からしさの評価

それぞれの音韻環境の仮説のもとで、詳細なスペクトログラム特徴を参照して音韻境界の検出を試みる。この結果、正しい仮説のもとでは音韻境界を見つけることができる。誤った仮説のもとでは誤った音韻境界が検出されるか、あるいは推論途中で矛盾を生じ音韻境界を得るに至らない。一つの音韻環境の仮説のもとで複数の音韻境界が得られることもある。

さらに、検出された音韻境界の確からしさを、先に得られている音韻候補仮説の確信度と、音韻環境仮説の確信度の結合として計算する。音韻環境を特徴づけるスペクトログラム特徴がはっきりしている場合には、その特徴を直接検証することで仮説を明示的に評価することができる。例えば、右側の音韻が無声破裂音であるという仮説は、クロージャの存在を検証することによってその確からしさを評価できる。一方、音韻環境の仮説の証拠となるスペクトログラム特徴を直接検証することが困難である場合には、その仮説のもとでもかく音韻境界を検出する。その後、検出された音韻境界付近のスペクトログラム特徴が仮説されている音韻環境のもとで妥当であるかどうかを評価しこれを音韻境界の確からしさとする。この結果、正しい仮説のもとで検出された音韻境界に対して、高い確信度が与えられることになる。

#### (4) 音韻境界の選択

音韻境界検出の結果、1つの音韻に対して複数の音韻境界が検出されたり、入力音声の同じ位置に複数の音韻が検出されるので、これらのうちから最も信頼度の高い結果を選び出す。一般にはより大きな確信度が与えられている結果を選ぶ。音韻クラスによっては、音韻継続長などをさらに調べることによって確信度を再計算する。最終的に、音韻クラスとその左右の境界位置が確信度付きで得られる。

### 3. セグメンテーション・ルールの構成

セグメンテーション・ルールのうち、音韻候補の検出、音韻環境の仮説、音韻境界の検出とその確からしさの評価を行うルールは大まかには図1の音韻クラスごとに記述されている。音韻境界の選択のルールには、ある音韻クラスに特有のものと、すべての音韻クラスで共通に使われるものがある。さらに、各音韻クラスごとの音韻境界の検出、評価のルールは、始端、終端ごとに、また音韻環境ごとに記述される。

ARTのルールの構造を図2に示す。ルールは**RULE-NAME**によって区別される。**SALIENCE-VALUE**は優先度を指定する値で、この値によってアジェンダ・リスト<sup>1</sup>内のルールの発火順序が定まる。**CONDITION**はルールが発火するための条件であり、**fact**パターンの並び記述される。**fact**パターンのすべてに対して、マッチする**fact**が存在するとき、ルールは発火可能となる。**goal**パターンにマッチする**fact**パターンにより、後ろ向き推論ルールが動作する。ここでは、前提となる音韻環境と音韻変形、スペクトログラム特徴の参照、スペクトログラム特徴量の確信度への変換などが記述される。**ACTION**にはルールが発火されたときに実行すべきことを記述する。ここでは、仮説の設定、**fact**の**assert**、確信度の計算などが行われる。

```
(defrule RULE-NAME
  "COMMENT"
  (declare (salience SALIENCE-VALUE))
  CONDITION
  =>
  ACTION)
```

Fig. 2 ART rule structure.

<sup>1</sup> 発火可能なルールのリスト。

## 4. セグメンテーション・ルール

本章では、各音韻カテゴリのセグメンテーション・ルール(4.1無声破裂音、4.2無声摩擦音、4.3気音、4.4有声摩擦音、4.5有声破裂音、4.6鼻音、4.7流音)、及び、4.8音韻カテゴリの統合の詳細を記す。各音韻カテゴリのセグメンテーション・ルールでは、概説、音韻候補の検出、音韻環境の仮説、音韻境界の再評価、競合解消の順に示し、音韻カテゴリの統合では最終音韻セグメンテーション区間の決定について示す。概説以外の項目は以下のように構成されている。

### rule-name (ルール名)

**rule-name**が行う簡単な説明

- 前提 (rule-nameが発火するための条件)
  - a. 前提条件1
  - b. 前提条件2
- 検出 (rule-nameが必要とする特徴抽出)
  - a. 特徴抽出1
  - b. 特徴抽出2
- 評価 (rule-nameの仮説を評価)
  - a. 評価対象1  
(確信度を求めるCFtable関数\*)  
証拠の度合い(強弱)、必要または十分条件
  - b. 評価対象2  
(確信度を求めるCFtable関数\*)  
証拠の度合い(強弱)、必要または十分条件
- 結論 (rule-nameの仮説から決定される結論)
  - a. 結論1

\* CFtable関数は、付録1CFtable一覧に示す。

\*\* 詳細は、脚注に示す。

\*\*\* 各音韻カテゴリのセグメンテーション・ルールのリストを付録2[別冊:TR-I-0073 (appendix)]に示す。

## 4.1 無声破裂音 ( $p, t, k, ch, ts$ )

### 4.1.1 概略

候補検出は語中ではクロージャによって、語頭では破裂を手掛かりにして行う。音韻候補が見つかれば、まずクロージャ区間を検出し、その後、音韻環境を仮説し、境界を検出する。音韻環境は、左が語頭、母音、無声化母音、右が母音、無声破裂音、無声摩擦音である。このほかに、音韻変形として、バーストの存在、ダブルバーストの存在、バースト時点での低域パワーの有無、アスピレーション部の低域パワーの有無、先行母音終端に続くクロージャ内での低域パワーの減少を仮説する。これらの低域パワーは前後の母音の低域パワーとの区別がつかないので、それぞれの仮説のもとで音韻境界を求め、確信度の大小で結果を選ぶ。また、語頭では立ち上がりの急な母音を破裂音と間違えやすいが、母音の場合は継続時間が非常に短くなる。そこで語頭に検出された破裂音に対しては始端、終端が求められた後、継続時間を調べる。

### 4.1.2 音韻候補の検出

#### sg-uvstop-bottom-up-1

0-6000Hzパワーが-50dB以下で、かつ0-500Hzパワーが-50dB以下の区間を見つけ、UNVOICED-STOP-CANDIDATEとする。

#### sg-uvstop-0

語中の無声破裂音候補を検出する。

- 検出
  - a. 0-6000Hzパワーが-50dB以下で、かつ0-500Hzパワーが-50dB以下の区間 UNVOICED-STOP-CANDIDATEを語中の無声破裂音候補(クロージャ区間)[?sl-from ?sl-to]とする。
- 評価
  - a. 無声破裂音候補(クロージャ区間)の継続時間  
(unvoiced-stop closure-duration)  
弱い証拠
  - b. 無声破裂音候補(クロージャ区間)の0-500Hzパワー  
(unvoiced-stop closure-0-500-power)  
弱い証拠、必要条件
  - c. 無声破裂音候補(クロージャ区間)の0-500Hz/500-1000Hzパワー比  
(unvoiced-stop closure-0-500-500-1000-power-ratio)  
弱い証拠、必要条件
  - d. 無声破裂音候補(クロージャ区間)の0-6000Hzパワー  
(unvoiced-stop closure-0-6000-power)  
弱い証拠、必要条件

#### sg-uvstop-1a

語頭の無声破裂音候補を検出する。

- 検出
  - a. 0-6000Hz パワーが-50dB 以下で、かつ0-500Hz パワーが-50dB 以下の区間 **UNVOICED-STOP-CANDIDATE**のうち先頭のものでかつバーストを持つものを、語頭の無声破裂音候補 [**UNKNOWN ?s1-to**]とする。
- 評価
  - a. 無声破裂音候補終端?s1-toの左50msecから右に80msec以内にバーストが存在する。  
強い証拠、必要条件
  - b. バースト直前[?s1-to-30msec, ?s1-to]の0-500Hzパワー  
(**unvoiced-stop closure-0-500-power**)  
弱い証拠、必要条件
  - c. バースト直前[?s1-to-30msec, ?s1-to]の0-500Hz/500-1000Hzパワー比  
(**unvoiced-stop closure-0-500-500-1000-power-ratio**)  
弱い証拠、必要条件
  - d. バースト直前[?s1-to-30msec, ?s1-to]の0-6000Hzパワー  
(**unvoiced-stop closure-0-6000-power**)  
弱い証拠、必要条件

## sg-uvstop-2

促音を検出する。

- 検出
  - a. 0-6000Hz パワーが-50dB 以下で、かつ0-500Hz パワーが-50dB 以下の区間 **UNVOICED-STOP-CANDIDATE**のうち語頭、語尾以外で継続時間の長いものを、促音の無声破裂音候補 [**?s1-from ?s1-to**]とする。
- 評価
  - a. 無声破裂音候補(クロージャ区間)の継続時間  
(**unvoiced-stop sokuon-closure-duration**)  
弱い証拠
  - b. 無声破裂音候補(クロージャ区間)の0-500Hzパワー  
(**unvoiced-stop closure-0-500-power**)  
弱い証拠、必要条件
  - c. 無声破裂音候補(クロージャ区間)の0-500Hz/500-1000Hzパワー比  
(**unvoiced-stop closure-0-500-500-1000-power-ratio**)  
弱い証拠、必要条件
  - d. 無声破裂音候補(クロージャ区間)の0-6000Hzパワー  
(**unvoiced-stop closure-0-6000-power**)  
弱い証拠、必要条件

### 4.1.3 音韻環境の仮説

#### sg-uvstop-3

バーストを持つかどうかを調べ、バーストの有無を仮設する。

- 前提
  - 無声破裂音 unvoiced-stop
  - 左は語頭でない<sup>1</sup>
  - 音韻候補区間[?cand-from ?cand-to]
- 検出
  - a. 音韻候補始端?cand-fromから音韻候補終端?cand-toの右40msec以内にバースト2が存在する場合、無声破裂音はバーストを持ち(has-burst ?segment yes)、バーストの時刻、周波数が決まる(burst ?bu-from ?bu-to ?bu-freq)。
  - b. バーストが存在しない場合、無声破裂音はバーストを持たない(has-burst ?segment no)。
- 評価
  - a. バーストの存在(確信度?burst-CF)は、バーストを持つことの強い証拠である

#### sg-uvstop-4

アスピレーション部の低域パワーを仮説する。

- 前提
  - 無声破裂音 unvoiced-stop
- 仮説
  - a. アスピレーション部に低域パワーがある。  
(has-aspiration-power-in-low-frequency yes)
  - b. アスピレーション部に低域パワーがない。  
(has-aspiration-power-in-low-frequency no)

#### sg-uvstop-8

バースト部分の低域パワーを仮説する。

- 前提
  - 無声破裂音 unvoiced-stop
- 仮説
  - a. バーストのパワーが低域にもある。  
(has-burst-power-in-low-frequency yes)
  - b. バーストのパワーが低域にはない。  
(has-burst-power-in-low-frequency no)

#### sg-uvstop-5a

ダブルバーストを持つことを仮説する。

- 前提
  - 無声破裂音 unvoiced-stop
  - バーストがある
  - バースト位置(?burst-start ?burst-end ?burst-freq)
- 仮説

<sup>1</sup> )語頭ではバーストがある場合のみ無声破裂音候補となるので、ルールsg-uvstop-1でバーストを持つことはすでに仮説されている。

<sup>2</sup> get-burst-right-of-unvoiced-stop-0によって複数のバーストが検出されるが、ここではそのうち確信度?burst-CFの最も大きいものとする。

- a. 1番目のバースト始端?burst-startの右10msecから右に50msec以内でかつ同じ周波数付近?burst-freq±250Hz に2番目のバーストがあり、かつその確信度?CF2nd-burstが大きい場合、無声破裂音はダブルバーストを持つと仮説する。
- 評価<sup>3</sup>
  - a. 2番目のバーストの確信度?CF2nd-burst  
強い証拠、必要条件
  - b. 1番目のバースト始端と2番目のバースト始端との距離  
(unvoiced-stop double-burst-distance)  
強い証拠、必要条件

### sg-uvstop-5b

ダブルバーストを持たないことを仮説する。

- 前提
  - 無声破裂音 unvoiced-stop
  - バーストがある
  - バースト位置 (?burst-start ?burst-end ?burst-freq)
- 検出
  - a. 1番目のバースト始端?burst-startの右10msecから右へ50msec以内でかつ同じ周波数付近?burst-freq±250Hz に2番目のバーストがあるが、その確信度?CF2nd-burstが小さい場合、無声破裂音はダブルバーストを持たないと仮説する。
- 評価<sup>4</sup>
  - a. 2番目のバーストの確信度?CF2nd-burst  
ダブルバーストを持たないことを強く否定する強い証拠、十分条件
  - b. 1番目のバースト始端と2番目のバースト始端との距離  
(unvoiced-stop double-burst-distance)  
ダブルバーストを持たないことを強く否定する強い証拠、十分条件

### sg-uvstop-5c

ダブルバーストを持たないことを強く仮説する。

- 前提
  - 無声破裂音 unvoiced-stop
  - バーストがある
  - バースト位置 (?burst-start ?burst-end ?burst-freq)
- 検出
  - a. 1番目のバースト始端?burst-startの右10msecから右へ50msec以内でかつ同じ周波数付近?burst-freq±250Hz に2番目のバーストが存在しない場合、無声破裂音はダブルバーストを持たないことを強く仮説する。

### sg-uvstop-5d

ダブルバーストが存在する仮説と、存在しない仮説は同時には成立しない。

### sg-uvstop-7

- 3 現ルールでは、証拠a, bのANDを強い証拠としている。
- 4 現ルールでは、証拠a, bの否定のORを強い証拠としている。

先行母音の低域パワーの減少に続いて、クロージャ区間に低域パワーの減少があるかどうかを仮説する。

- 前提  
無声破裂音 **unvoiced-stop**
- 仮説
  - a. クロージャ区間に低域パワーの減少がある。  
(**has-extra-voicing-in-closure yes**)
  - b. クロージャ区間には低域パワーの減少はない。  
(**has-extra-voicing-in-closure no**)

### sg-uvstop-left-1

無声破裂音の左側の音韻環境を仮説する。

- 前提  
無声破裂音 **unvoiced-stop**  
左は語頭ではない  
クロージャ位置が判明している<sup>5</sup>
- 仮説
  - a. 母音 **vowel**
  - b. 無声化母音 **devoiced-vowel**

### sg-uvstop-right-0

無声破裂音の右側の音韻環境を仮説する。

- 前提  
無声破裂音 **unvoiced-stop**  
クロージャ位置が判明している
- 仮説
  - a. 母音 **vowel**
  - b. 無声破裂音 **stop**
  - c. 無声摩擦音 **fricative**

## 4.1.4 音韻境界の検出、評価

(クロージャの検出)

### sg-uvstop-find-closure-1

正しいクロージャ区間を見つける。

- 前提  
無声破裂音 **unvoiced-stop**  
左は語頭ではない

<sup>5</sup> 音韻候補が検出された直後、音韻環境の仮説に先立って、**sg-uvstop-find-closure-1,2,3**によってクロージャ区間が検出される。

バーストは持たない

音韻候補区間[?from ?to]

- 検出
  - a. 音韻候補区間内6にクロージャの右端があるとき、無声破裂音はクロージャを持つ。
- 評価
  - a. クロージャの確信度?CFclosure  
無声破裂音の証拠

### sg-uvstop-find-closure-2

正しいクロージャ区間を見つける。

- 前提
  - 無声破裂音 unvoiced-stop
  - 左は語頭ではない
  - バーストを持つ(始端?here)
- 検出
  - a. バースト始端?hereの左30msec以内クロージャの右端があれば、無声破裂音はクロージャを持つ。
- 評価
  - a. クロージャの確信度?CFclosure  
無声破裂音の証拠

### sg-uvstop-find-closure-3

語頭のクロージャ区間(右端のみ)を決める。<sup>7</sup>

- 前提
  - 無声破裂音 unvoiced-stop
  - 左は語頭 word-initial
  - バーストを持つ(始端?here)
- 検出
  - a. バーストの始端?hereをクロージャの終端とする。
- 評価
  - a. バーストの確信度?CFburstをクロージャの確信度とする。

### get-closure-1

時刻?hereの左?range、右50msec内に終端のあるクロージャを見つける(後向きルール)。

- 検出
  - a. 時刻?hereの左?range+500msec以内で、1000-4000Hzパワーが減少する時点をクリック始端?cl-startとする。
  - b. クロージャ始端?cl-startから右へ、?hereの右50msecまでで、1000-4000Hzパワーが増加する時点をクリック終端?cl-endとする。
  - c. クロージャ終端?cl-endが時刻?hereの左?range以内にあることを確かめる。
- 評価

<sup>6</sup> 正しくは音韻候補終端の右50msec以内でもよい(get-closure-1)。

<sup>7</sup> 語頭と語中の無声破裂音を同じルールで扱うために、語頭の場合にもクロージャ区間(右端のみ)を定義しておく。

- a. クロージャの継続時間  
(unvoiced-stop closure-duration) または  
(unvoiced-stop sokuon-closure-duration)  
必要条件
- b. クロージャの0-6000Hzパワー  
(unvoiced-stop closure-0-6000-power)  
必要条件

## get-closure-2

時刻?hereの左にあって、終端時刻が?toであるクロージャ(の始端)を見つける(後向きルール)。

- 検出
  - a. 時刻?hereの左?range+500msec以内で、1000-4000Hzパワーが減少する時点をクリック始端?cl-startとする。
- 評価
  - a. クロージャの継続時間  
(unvoiced-stop closure-duration) または  
(unvoiced-stop sokuon-closure-duration)  
必要条件
  - b. クロージャの0-6000Hzパワー  
(unvoiced-stop closure-0-6000-power)  
必要条件

## get-closure-after-1

時刻?hereの右?range msec以内に始端のあるクロージャを見つける。

- 検出
  - a. 時刻?hereの右?range +500msec以内で、1000-4000Hzパワーが増加する時刻をクリック終端?cl-endとする。
  - b. クロージャ終端?cl-endから左へ、時刻?hereの左50msecまでで、1000-4000Hzパワーが増加する時刻をクリック始端?cl-startとする。
  - c. クロージャ始端?cl-startが時刻?hereの右?range msec以内にあることを確かめる。
- 評価
  - a. クロージャの継続時間  
(unvoiced-stop closure-duration) または  
(unvoiced-stop sokuon-closure-duration)  
必要条件
  - b. クロージャの0-6000Hzパワー  
(unvoiced-stop closure-0-6000-power)  
必要条件

(バーストの検出)

## get-burst-right-of-unvoiced-stop-0

時刻?hereの右?range msec以内で、周波数範囲[?freq-min, ?freq-max]にあるバーストを見つける(後向き推論ルール)。このルールは実際にバーストを発見するルールget-burst-right-of-unvoiced-stop-1を起動する。<sup>8</sup>

## get-burst-right-of-unvoiced-stop-1

時刻?hereの右?range msec以内で、周波数範囲[?freq-min, ?freq-max]にあるバーストを見つける(後向き推論ルール)。

### ● 検出

- 時刻?hereの右?range msec以内で、?freq-min-?freq-maxHzパワーが短時間に急激に増加する時刻をバーストの大まかな位置?burst-1000-4000-start<sup>9</sup>とする。パワー変化量を?burst-1000-4000-start-changeとする。
- バーストの大まかな位置?burst-1000-4000-start付近で、周波数範囲[?freq-min, ?freq-max]内にあるスペクトルのローカル・ピークの周波数の1つを?peak-freqとする。<sup>10</sup>
- 時刻?hereから右へ、?burst-1000-4000-startの右10msecまでで、周波数?peak-freq ±100Hzでのパワーが短時間に急激に増加する時刻をバースト始端?burst-startとする。このときのパワー変化量を?burst-start-changeとする。
- バースト始端?burst-startの右30msec以内で、周波数?peak-freq ±100Hzでのパワーが短時間に急激に減少する時刻があれば、これをバースト終端?burst-endとする。このときのパワー変化量を?burst-end-changeとする。なければ、バースト終端はNONEとする。<sup>11</sup>

### ● 評価

- 大まかなバースト位置でのパワー変化量?burst-1000-4000-start-change  
(unvoiced-stop burst-1000-4000-start-change)  
仮説の確信度には反映されない。
- バースト始端でのパワー変化量?burst-start-change  
(unvoiced-stop burst-start-change)  
バーストの強い証拠、必要条件
- バースト終端でのパワー変化量?burst-end-change  
(unvoiced-stop burst-end-change)  
バーストの弱い証拠
- バーストの継続時間  
(unvoiced-stop burst-duration)  
弱い証拠

<sup>8</sup> ART本来の後向き推論ルールは1つのgoal patternに対して1つのfactしかassertされない。ここでは、1つのgoal pattern(バーストの存在)に対して複数のfact(それぞれが1つのバーストの候補)をassertするために、後向き推論ルールget-burst-right-of-unvoiced-stop-1は通常のfact(search-burst-after ?here ?range ?freq-min ?freq-max)をassertし、前向き推論ルールget-burst-right-of-unvoiced-stop-2がこれをゴールとして動作する。後向き推論ルールは必ずしもゴールと同じfactをassertしなくてもよいようである。

<sup>9</sup> 通常、1000-4000Hzパワーの変化でバーストを捜すことから、この変数名が使われている。

<sup>10</sup> 複数のローカル・ピークのそれぞれに対してこのルールが動作する。

<sup>11</sup> 特に、voice-onset-timeが短い場合はバースト終端は見つからない。

(無声破裂音始端の検出、語頭の場合)

### sg-uvstop-left-word-initial-done-1

語頭の無声破裂音の始端を決める。

- 前提
  - 無声破裂音 **unvoiced-stop**
  - 左は語頭 **word-initial**
  - バーストを持つ(バースト始端?burst-start)
- 検出
  - a. バースト始端?burst-startを無声破裂音の始端 **start-time**と仮説する。
- 評価
  - a. 左側環境の確信度?CFcontextを音韻始端の確信度とする。

(無声破裂音始端の検出、左が母音の場合)

### sg-uvstop-aft-vowel-0

左に別のクロージャがないことを確かめる。<sup>12</sup>

- 前提
  - 無声破裂音 **unvoiced-stop**
  - 左は母音 **vowel**
  - 音韻候補始端?cand-from
- 検出
  - a. 音韻候補始端?cand-fromの左20msec以内に終端のあるクロージャが存在する場合、左側が母音という仮説の確信度を下げる。
- 評価
  - a. クロージャの確信度?closure-CFの否定  
左が母音であることの証拠、必要条件

### sg-uvstop-aft-vowel-1a

先行母音の終端を見つける。

- 前提
  - 無声破裂音 **unvoiced-stop**
  - 左は母音 **vowel**
  - クロージャ始端?cl-from、終端?cl-to
  - クロージャ区間に低域パワーの減少がない  
(has-extra-voicing-in-closure no)
- 検出
  - a. クロージャ終端?cl-toからクロージャ始端?cl-fromの左50msecまでで、1000-4000Hzパワーが減少する時刻を母音終端?vowel-endとする。
- 評価

<sup>12</sup> このルールは左が母音の場合の他の境界検出ルールより優先して適用される。

- a. 母音終端直前[?vowel-end-30msec, ?vowel-end-10msec]の0-500Hzパワー  
(vowel 0-500-power)  
左が母音であることの証拠、必要条件
- b. 母音終端直前[?vowel-end-30msec, ?vowel-end-10msec]の1000-6000Hzパワー  
(vowel 1000-6000-power)  
左が母音であることの証拠、必要条件

### sg-uvstop-aft-vowel-1b

先行母音の終端を見つける(母音パワーの減少に続いて、クロージャ区間に低域パワーの減少がある場合)。

- 前提
  - 無声破裂音 unvoiced-stop
  - 左は母音 vowel
  - クロージャ始端 ?cl-from、終端 ?cl-to
  - クロージャ区間に低域パワーの減少がある  
(has-extra-voicing-in-closure yes)
- 検出
  - a. クロージャ終端 ?cl-to からクロージャ始端 ?cl-from の左50msecまでで、1000-4000Hzパワーが減少する時刻を、クロージャ区間の低域パワーの終端 ?voicing-end とする。
  - b. クロージャ区間の低域パワーの終端 ?voicing-end の左100msec以内で、1000-4000Hzパワーが減少する時刻が先行母音の終端 ?vowel-end である。
  - c. 母音の終端 ?vowel-end の右、クロージャ区間の低域パワーの終端 ?voicing-end までには、1000-4000Hzパワーの増加はない。
- 評価
  - a. 母音終端直前[?vowel-end-30msec, ?vowel-end-10msec]の0-500Hzパワー  
(vowel 0-500-power)  
左が母音であることの証拠、必要条件
  - b. 母音終端直前[?vowel-end-30msec, ?vowel-end-10msec]の1000-6000Hzパワー  
(vowel 1000-6000-power)  
左が母音であることの証拠、必要条件

### sg-uvstop-aft-vowel-done-1

左が母音の無声破裂音の始端を決める。

- 前提
  - 無声破裂音 unvoiced-stop
  - 左は母音 vowel
  - 先行母音の終端 ?vowel-end
- 検出
  - a. 先行母音の終端 ?vowel-end を無声破裂音の始端と仮説する。
- 評価
  - a. 左が母音であることの確信度を音韻始端の確信度とする。

(無声破裂音始端の検出、左が無声化母音の場合)

### sg-uvstop-aft-devoiced-vowel-1

クロージャ始端を見つける。<sup>13</sup>

- 前提
  - 無声破裂音 `unvoiced-stop`
  - 左は無声化母音 `devoiced-vowel`
  - クロージャ始端 `?from`、終端 `?to`
- 検出
  - a. クロージャ終端 `?to` の左、クロージャ始端 `?from` の左 80msec までで、1000-6000Hz パワーが減少する時刻を新たにクロージャ始端 (`closure-start-time ?closure-start`) とする。
  - b. クロージャ直前 [`?closure-start-30msec, ?closure-start-10msec`] の 0-500Hz パワーによって、母音が無声化していることを確かめる。
- 評価
  - a. クロージャ直前 [`?closure-start-30msec, ?closure-start-10msec`] の 0-500Hz パワー。
    - (`vowel 0-500-power`)
    - 母音が無声化していることを否定する強い証拠、必要条件

### sg-uvstop-aft-devoiced-vowel-done-1

左の母音が無声化している場合の無声破裂音の始端を決める。

- 前提
  - 無声破裂音 `unvoiced-stop`
  - 左は無声化母音 `devoiced-vowel`
  - クロージャ始端 (`closure-start-time ?closure-start`)
- 検出
  - a. クロージャ始端 `?closure-start` を無声破裂音の始端と仮説する。
- 評価
  - a. 左が無声化母音であること確信度を音韻始端の確信度とする。

(無声破裂音終端の検出、右が母音の場合)

### sg-uvstop-bfr-vowel-3a

後続母音の始端を見つける。

- 前提
  - 無声破裂音 `unvoiced-stop`
  - 右は母音 `vowel`
  - クロージャ始端 `?cl-from`、終端 `?cl-to`
  - バースト位置に低域パワーはない
    - (`has-burst-power-in-low-frequency no`)

<sup>13</sup> `sg-uvstop-find-closure-1,2,3` では 1000-4000Hz パワーで捜したが、ここでは 1000-6000Hz パワーでもう一度クロージャ始端を捜す。

アスピレーション部に低域パワーはない

(has-aspiration-power-in-low-frequency no)

● 検出

- a. クロージャ終端?cl-toの左20msecから右へ150msec以内で、0-500Hzパワーが増加する時刻を母音の大まかな始端?vowel-regionとする。
- b. ?vowel-region 付近[?vowel-region + 20msec、?vowel-region + 40msec]の0-500Hzパワーを?voicing-powerとする。
- c. 母音の大まかな始端?vowel-regionの右40msecから右へ100msec以内で、0-500Hzパワーが、?voicing-power-10dBを越える時刻が後続母音の始端?vowel-startである。

● 評価

- a. 母音の[?vowel-region + 20msec、?vowel-region + 40msec]の0-500Hzパワー  
(vowel 0-500-power)  
右側音韻環境が正しいことの強い証拠、必要条件
- b. voice-onset-time(クロージャ終端?cl-toと後続母音の始端?vowel-startとの間隔)  
(unvoiced-stop voice-onset-time)  
右側音韻環境が正しいことの弱い証拠、必要条件

### sg-uvstop-bfr-vowel-3b

後続母音の始端を見つける。

● 前提

無声破裂音 unvoiced-stop

右は母音 vowel

クロージャ始端?cl-from、終端?cl-to

バースト位置に低域パワーがある

(has-burst-power-in-low-frequency yes)

アスピレーション部に低域パワーはない

(has-aspiration-power-in-low-frequency no)

● 検出

- a. クロージャ終端?cl-toの左20msecから右へ150msec以内で、0-500Hzパワーが増加する時刻をバースト位置?burstとする。
- b. バースト位置?burstの右150msec以内で、0-500Hzパワーが増加する時刻を母音の大まかな始端?vowel-regionとする。
- c. ?vowel-region 付近[?vowel-region + 20msec、?vowel-region + 40msec]の0-500Hzパワーを?voicing-powerとする。
- d. 母音の大まかな始端?vowel-regionの右40msecから右へ100msec以内で、0-500Hzパワーが、?voicing-power-10dBを越える時刻が後続母音の始端?vowel-startである。

● 評価

- a. 母音の[?vowel-region + 20msec、?vowel-region + 40msec]の0-500Hzパワー  
(vowel 0-500-power)  
右側音韻環境が正しいことの強い証拠、必要条件
- b. voice-onset-time(クロージャ終端?cl-toと後続母音の始端?vowel-startとの間隔)  
(unvoiced-stop voice-onset-time)  
右側音韻環境が正しいことの弱い証拠、必要条件

### sg-uvstop-bfr-vowel-3c

後続母音の始端を見つける。

- 前提

無声破裂音 unvoiced-stop

右は母音 vowel

クロージャ始端 ?cl-from、終端 ?cl-to

バースト位置に低域パワーがある

(has-burst-power-in-low-frequency yes)

アスピレーション部に低域パワーがある

(has-aspiration-power-in-low-frequency yes)

- 検出

- クロージャ終端 ?cl-to の左 20msec から右へ 150msec 以内で、0-500Hz パワーが増加する時刻をバースト位置 ?burst とする。
- バースト位置 ?burst の右 150msec 以内で、0-500Hz パワーが増加する時刻をアスピレーション部の低域パワー位置 ?aspiration とする。
- アスピレーション部の低域パワー位置 ?aspiration の右 150msec 以内で、0-500Hz パワーが増加する時刻を母音の大まかな始端 ?vowel-region とする。
- ?vowel-region 付近 [ ?vowel-region + 20msec、?vowel-region + 40msec ] の 0-500Hz パワーを ?voicing-power とする。
- 母音の大まかな始端 ?vowel-region の右 40msec から右へ 100msec 以内で、0-500Hz パワーが、?voicing-power - 10dB を越える時刻が後続母音の始端 ?vowel-start である。

- 評価

- 母音の [ ?vowel-region + 20msec、?vowel-region + 40msec ] の 0-500Hz パワー (vowel 0-500-power)  
右側音韻環境が正しいことの強い証拠、必要条件
- voice-onset-time (クロージャ終端 ?cl-to と後続母音の始端 ?vowel-start との間隔)  
(unvoiced-stop voice-onset-time)  
右側音韻環境が正しいことの弱い証拠、必要条件

### sg-uvstop-bfr-vowel-4a

後続母音までに他の破裂音のクロージャがないことを確かめる。

- 前提

無声破裂音 unvoiced-stop

右は母音 vowel

クロージャ始端 ?cl-from、終端 ?cl-to

バーストがない (has-burst ?segment no)

後続母音の始端 ?vowel-start がわかっている

- 検出

- 後続母音の始端 ?vowel-start の左、クロージャ終端 ?cl-to の右 10msec までに終端のある別のクロージャを捜す。14

- 評価

14 クロージャ始端 ?cl-to の右 10msec から 60msec の間で終わるクロージャを捜し (get-closure-1)、そのクロージャが ?cl-to より右で始まっていることを確かめる。

- a. 別のクロージャの確信度?CFanother-closureの否定  
左が母音であることの強い証拠、必要条件。

### sg-uvstop-bfr-vowel-4b

後続母音までに他の破裂音のクロージャがないことを確かめる。

- 前提
  - 無声破裂音 unvoiced-stop
  - 右は母音 vowel
  - クロージャ始端?cl-from、終端?cl-to
  - バーストがある (has-burst ?segment yes)
  - バーストの始端、またはダブルバーストの2番目のバーストの始端 ?bu-from
  - 後続母音の始端?vowel-startがわかっている
- 検出
  - a. 後続母音の始端?vowel-startの左、バーストの始端 ?bu-fromの右10msecまでに終端のある別のクロージャを捜す。15
- 評価
  - a. 別のクロージャの確信度?CFanother-closureの否定  
左が母音であることの強い証拠、必要条件。

### sg-uvstop-bfr-vowel-5

母音の直前に低域パワーのないことを確かめる。

- 前提
  - 無声破裂音 unvoiced-stop
  - 右は母音 vowel
  - 後続母音の始端?vowel-startがわかっている
- 評価
  - a. 後続母音の始端直前[?vowel-start-30msec、?vowel-start-10msec]の0-500Hzパワー  
(unvoiced-stop 0-500-power-before-vowel)  
右が母音であることの必要条件
  - b. 後続母音の始端直前[?vowel-start-30msec、?vowel-start-10msec]の500-1000Hzパワー  
(unvoiced-stop 0-500-power-before-vowel)  
右が母音であることの必要条件

### sg-uvstop-bfr-vowel-done-1

右が母音の無声破裂音の終端を決める。

- 前提
    - 無声破裂音 unvoiced-stop
    - 右は母音 vowel
    - 後続母音の始端?vowel-startがわかっている
  - 検出
    - a. 後続母音の始端?vowel-startを無声破裂音の終端と仮説する。
- 15 クロージャ始端?cl-toの右10msecから60msecの間で終わるクロージャを捜し(get-closure-1)、そのクロージャが?cl-toより右で始まっていることを確かめる。

- 評価
  - a. 右側音韻環境の確信度?CFcontextを終端の確信度とする。

(無声破裂音終端の検出、右が無声破裂音の場合)

### sg-uvstop-bfr-stop-0

後続する無声破裂音のうしろの母音を見つける。

- 前提
  - 無声破裂音 unvoiced-stop
  - 右は無声破裂音 stop
  - クロージャの始端?cl-from、終端?cl-to
- 検出
  - a. クロージャの終端?cl-toの右20msecから右300msec以内で、0-500Hzパワーが始まる時刻を母音のおおよその位置?vowel-regionとする。

### sg-uvstop-bfr-stop-1

後続破裂音のクロージャがあることを確かめる。

- 前提
  - 無声破裂音 unvoiced-stop
  - 右は無声破裂音 stop
  - クロージャの始端?cl-from、終端?cl-to
  - 後続破裂音に続く母音の位置?vowel-region
- 検出
  - a. ?vowel-regionの左20msecからクロージャの終端?cl-toの左20msecまでで、1000-6000Hzパワーが始まる時刻を後続破裂音のクロージャの終端?another-closure-endとする。
  - b. 後続破裂音のクロージャの終端?another-closure-endからクロージャの終端?cl-toまでで、1000-6000Hzパワーが終わる時刻を後続破裂音のクロージャの始端?another-closure-startとする。
- 評価
  - a. 後続破裂音のクロージャの0-6000Hzパワー  
(unvoiced-stop closure-0-6000-power)  
右が無声破裂音であることの証拠、必要条件

### sg-uvstop-bfr-stop-2

後続母音が無声化していることを確かめる。

- 前提
  - 無声破裂音 unvoiced-stop
  - 右は無声破裂音 stop
  - クロージャの始端?cl-from、終端?cl-to
  - 後続破裂音のクロージャの始端?another-closure-start
- 検出

- a. クロージャの終端?cl-toの左20msecから右へ、後続破裂音のクロージャの始端?another-closure-startまでで、0-500Hzパワーが始まる時刻?vowel-regionを捜す。もしあれば母音が無声していないことになる。

b.

- 評価

- a. [?vowel-region, ?vowel-region+30msec]の0-500Hzパワー  
(vowel 0-500-power)  
後続母音が無声化していることを否定する強い証拠、十分条件<sup>16</sup>

### sg-uvstop-bfr-stop-3

後続破裂音のクロージャの始端直前の低域パワーを確かめる。

- 前提

無声破裂音 unvoiced-stop  
右は無声破裂音 stop  
後続破裂音のクロージャの始端 ?another-closure-start

- 評価

- a. 後続破裂音のクロージャの始端直前[?another-closure-start-30msec, ?another-closure-start-30msec]の0-500Hzパワー  
(unvoiced-stop 0-500-power-before-vowel)  
右が破裂音であることの必要条件

### sg-uvstop-bfr-stop-done-1

右が破裂音であるときの無声破裂音の終端を決める。

- 前提

無声破裂音 unvoiced-stop  
右は無声破裂音 stop  
後続破裂音のクロージャの始端 ?closure-start

- 検出

- a. 後続破裂音のクロージャの始端?closure-startを無声破裂音の終端と仮説する。

- 評価

- a. 右側音韻環境の確信度を終端の確信度とする。

(無声破裂音終端の検出、右が無声摩擦音の場合)

### sg-uvstop-bfr-fricative-1

後続する無声摩擦音の摩擦パワーの始端と、これに後続する母音の始端を捜す。

- 前提

無声破裂音 unvoiced-stop  
右は無声摩擦音 fricative  
クロージャ始端?cl-from、終端?cl-to

- 検出

- a. クロージャ終端?cl-toから右へ300msec以内で、0-500Hzパワーが始まる時刻を後続母音のおおよその位置?vowel-regionとする。

<sup>16</sup> 母音パワーの確信度の否定が、後続母音無声化の必要条件。

- b. 後続母音位置?vowel-regionの右30msecから左へ100msec以内で、0-500Hzパワーが増加する時刻が後続母音始端?vowel-startである。
- c. 後続母音始端?vowel-startから左へ300msec以内で、4000-6000Hzパワーが増加する時刻が後続無声摩擦音の始端?frication-startである。
- d. 後続母音始端?vowel-startの左20msecから左へ後続無声摩擦音の始端?frication-startまでに、4000-6000Hzパワーが減少する時刻のないことを確かめる。

### sg-uvstop-bfr-fricative-2

無声摩擦音が後続することを検証する。

- 前提

無声破裂音 unvoiced-stop  
右は無声摩擦音 fricative  
バーストがある (has-burst ?segment yes)  
バースト始端?bu-from、終端?bu-to  
後続無声摩擦音の始端?frication-start  
後続母音始端?vowel-start

- 評価

- a. 摩擦音が後続する場合のアスピレーション部 (バースト始端?bu-fromから後続無声摩擦音の始端?frication-startまで) の継続時間  
(unvoiced-stop aspiration-duration-before-fricative)  
右が摩擦音であることの弱い証拠<sup>17</sup>
- b. 後続摩擦音の摩擦区間 (後続無声摩擦音の始端?frication-startから後続母音始端?vowel-startまで) の継続時間  
(unvoiced-stop frication-duration-when-followed-by-fricative)  
右が摩擦音であることの弱い証拠、必要条件

### sg-uvstop-bfr-fricative-3

無声摩擦音が後続することを検証する。

- 前提

無声破裂音 unvoiced-stop  
右は無声摩擦音 fricative  
バーストがない (has-burst ?segment no)  
後続無声摩擦音の始端?frication-start  
後続母音始端?vowel-start  
クロージャ始端?cl-from、終端?cl-to

- 評価

- a. 摩擦音が後続する場合のアスピレーション部 (クロージャ終端?cl-toから後続無声摩擦音の始端?frication-startまで) の継続時間  
(unvoiced-stop aspiration-duration-before-fricative)  
右が摩擦音であることの弱い証拠
- b. 後続摩擦音の摩擦区間 (後続無声摩擦音の始端?frication-startから後続母音始端?vowel-startまで) の継続時間

<sup>17</sup> アスピレーション部のない場合もあるので、必要条件にはできない。

(unvoiced-stop frication-duration-when-followed-by-fricative)

右が摩擦音であることの弱い証拠、必要条件

#### sg-uvstop-bfr-fricative-4

無声摩擦音の前に有声パワーのないことを確かめる。

- 前提

無声破裂音 unvoiced-stop

右は無声摩擦音 fricative

後続無声摩擦音の始端 ?frication-start

- 評価

- a. 後続無声摩擦音の始端直前 [?frication-start-30msec, ?frication-start-10msec] の 0-500Hz パワー

(unvoiced-stop 0-500-power-before-vowel)

右が摩擦音であることの証拠、必要条件

#### sg-uvstop-bfr-fricative-done-1

右が破裂音であるときの無声破裂音の終端を決める。

- 前提

無声破裂音 unvoiced-stop

右は無声摩擦音 fricative

後続無声摩擦音の始端 ?frication-start

- 検出

- a. 後続無声摩擦音の始端 ?frication-start を無声破裂音の終端と仮説する。

- 評価

- a. 右側音韻環境の確信度を終端の確信度とする。

#### 4.1.5 音韻境界の再評価、競合解消

##### sg-unstop-at-word-initial-end-1

語頭の無声破裂音の継続時間を検証する。継続時間が短い場合は、単に母音の始端である可能性がある。

- 前提

無声破裂音 unvoiced-stop

音韻始端 ?start、音韻終端 ?end

左は語頭 word-initial

- 評価

- a. 音韻継続時間 (?start から ?end まで)

(unvoiced-stop duration-at-word-initial)

無声破裂音であることの必要条件

## 4.2 無声摩擦音 (*s, sh*)

### 4.2.1 概略

無声で摩擦パワーがある区間を無声摩擦音候補とする。音韻環境の仮説は、左が母音、語頭、無声破裂音、右が母音、無声破裂音または破擦音である。無声破裂音のアスピレーション部と無声摩擦音との区別が困難であるので、同じ位置に無声摩擦音と無声破裂音とが検出された場合には、無声破裂音を優先させる。

### 4.2.2 音韻候補の検出

#### sg-uvfric-bottom-up

5000-6000Hzパワーが-40dB以上で、かつ0-500Hzパワーが-45dB以下の区間を見つけ、UNVOICED-FRICATIVE-CANDIDATEとする。

#### sg-uvfric-0

無声摩擦音候補を検出する。

- 検出
  - a. 5000-6000Hzパワーが-40dB以上で、かつ0-500Hzパワーが-45dB以下の区間 UNVOICED-FRICATIVE-CANDIDATEで20msec以上のものを無声摩擦音候補とする。
- 評価
  - a. 4000-6000Hzパワー  
(unvoiced-fricative 4000-6000-power)  
弱い証拠、必要条件
  - b. 摩擦パワーのカットオフ周波数  
(unvoiced-fricative cutoff)  
弱い証拠
  - c. 0-500Hzパワー  
(unvoiced-fricative 0-500-power)  
弱い証拠、必要条件
  - d. 0-500/1000-2000Hzパワー比  
(unvoiced-fricative 0-500-1000-2000-power-ratio)  
弱い証拠、必要条件

#### sg-uvfric-1

無声破裂音でないことを確認する。<sup>1</sup>

- 前提  
無声摩擦音 unvoiced-fricative  
音韻候補始端?from、終端?to
- 検出
  - a. 音韻候補始端?fromの左20msec以内に終端のあるクロージャを捜す。
- 評価

<sup>1</sup> 無声破裂音のアスピレーション部は大抵の場合、無声摩擦音候補として検出されてしまうので、このルールである程度までそれらを取り除く。

- a. クロージャの存在は無声摩擦音であることを否定する弱い証拠、十分条件となる。

### sg-uvfric-more

無声摩擦音候補区間の前半の無声摩擦音が検出されたあと、無声摩擦音候補区間の残りの部分を新たに無声摩擦音候補とする<sup>2</sup>。

- 前提
  - 無声摩擦音候補区間 `unvoiced-fricative-candidate` の前半部に無声摩擦音 `unvoiced-fricative` が検出され、かつその終端 `?end` から無声摩擦音候補区間終端 `?to` まで 20msec 以上ある。
- 検出
  - a. 無声摩擦音候補区間の前半に検出された無声摩擦音の終端 `?end` から無声摩擦音候補区間終端 `?to` までを新たな無声摩擦音候補の始端、終端とする。
  - b. 新たな無声摩擦音候補の左側環境は無声摩擦音 `unvoiced-fricative` とする。
  - c. 新たな無声摩擦音候補の始端は左の無声摩擦音の終端 `?end` とし、確信度も同じとする。
- 評価
  - a. 新たな無声摩擦音区間の 4000-6000Hz パワー  
(`unvoiced-fricative 4000-6000-power`)  
無声摩擦音の証拠、必要条件
  - b. 新たな無声摩擦音区間のカットオフ周波数  
(`unvoiced-fricative cutoff`)  
無声摩擦音の弱い証拠
  - c. 新たな無声摩擦音区間の 0-500/1000-2000Hz パワー比  
(`unvoiced-fricative 0-500-1000-2000-power-ratio`)  
弱い証拠、必要条件

### 4.2.3 音韻環境の仮説

#### sg-uvfric-left-1

無声摩擦音の左側の音韻環境を仮説する。

- 前提
  - 無声摩擦音 `unvoiced-fricative`
- 仮説
  - a. 母音 `vowel`
  - b. 語頭 `word-initial`
  - c. 無声破裂音 `stop`

#### sg-uvfric-right-1

<sup>2</sup> 無声摩擦音のルールで無声破裂音のセグメンテーションを行っていた頃の名残である。無声化母音を挟んで無声摩擦音と無声破裂音とが隣接する場合、2つの音韻を合わせた区間が無声摩擦音候補として検出され、まずその区間の前半部の摩擦音を検出される。そのあと、後半部の破裂音のセグメンテーションを始めるためのルールである。現在は、無声摩擦音のルールでは破裂音は検出されないため、意味がない。ただし、2つの無声摩擦音が無声化母音を挟んで隣接する場合で、前半部の摩擦音が正しく検出されれば、このルールによって後半部の摩擦音のセグメンテーションが開始される。

無声摩擦音の右側の音韻環境を仮説する。

- 前提  
無声摩擦音 **unvoiced-fricative**
- 仮説
  - a. 母音 **vowel**
  - b. 無声破裂音か無声破擦音 **stop-or-affricate**

#### 4.2.4 音韻境界の検出、評価

(無声摩擦音始端の検出、左が母音の場合)

##### sg-uvfric-aft-vowel-0

スペクトルのグローバルなピークを捜す<sup>3</sup>。

- 前提  
無声摩擦音 **unvoiced-fricative**  
左は母音 **vowel**  
音韻候補始端 **?from**、終端 **?to**
- 検出
  - a. 音韻候補始端付近 [**?from, ?from+20msec**] のスペクトルのグローバルなピーク4の周波数とピーク値を求める。

##### sg-uvfric-aft-vowel-2

高域パワー(摩擦パワー)の始端を捜す。

- 前提  
無声摩擦音 **unvoiced-fricative**  
左は母音 **vowel**  
音韻候補始端 **?from**、終端 **?to**  
もしあれば、スペクトルのグローバルなピークの周波数 **?peak-freq**
- 検出
  - a. 音韻候補始端 **?from** の右20msecから左へ150msec以内で、スペクトルのグローバルなピークの周波数 **?peak-freq** がある場合にはその周波数付近 [**?peak-freq±500Hz**]、ない場合には4000-6000Hzのパワーが増加する時刻を高域パワーの始端 **?hfe-start** とする<sup>5</sup>。

##### sg-uvfric-aft-vowel-3

先行母音の終端を捜す。

- 前提  
無声摩擦音 **unvoiced-fricative**  
左は母音 **vowel**  
音韻候補始端 **?from**

- 3 /s/, /sh/ ではスペクトルにグローバルなピークはなく、摩擦性の /h/ に対してグローバルなピークが求まる。
- 4 スムージング・サイズを大きくする (?\*spectrum-global-peak-moving-average-size\*=25ポイント)。
- 5 摩擦性の /h/ では3000-4000Hzにスペクトルのピークがあり、その付近でのパワー増加の時点が始端となる。

- 検出
  - a. 音韻候補始端 *?from* の右 20msec から左へ 100msec 以内で、1000-2500Hz パワーが減少する時刻 *?here* を先行母音の終端とする。

### sg-uvfric-aft-vowel-3b

閾値を下げて先行母音の終端を捜す。

- 前提
  - 無声摩擦音 *unvoiced-fricative*
  - 左は母音 *vowel*
  - 音韻候補始端 *?from*
- 検出
  - a. 音韻候補始端 *?from* の右 20msec から左へ 100msec 以内で、1000-2500Hz パワーが減少する時刻を通常の (パワー変化量の) 閾値で捜して見つからないとき、少し小さな閾値で捜す。

### sg-uvfric-aft-vowel-4

先行母音のパワーを検証する。

- 前提
  - 無声摩擦音 *unvoiced-fricative*
  - 左は母音 *vowel*
  - 先行母音の終端 *?vowel-end*
- 評価
  - a. 先行母音の終端直前 [*?vowel-end-30msec, ?vowel-end*] の 0-500Hz パワー (*vowel 0-500-power*)  
左が母音であるための証拠、必要条件
  - b. 先行母音の終端直前 [*?vowel-end-30msec, ?vowel-end*] の 0-6000Hz パワー (*vowel 0-6000-power*)  
左が母音であるための証拠、必要条件

### sg-uvfric-aft-vowel-5

先行母音の立ち下がり部分を検証する。

- 前提
  - 無声摩擦音 *unvoiced-fricative*
  - 左は母音 *vowel*
  - 先行母音の終端 *?vowel-end*
  - 高域パワーの始端 *?hfe-start*
  - 先行母音の終端 *?vowel-end* が高域パワーの始端 *?hfe-start* より左にある
- 評価
  - a. 先行母音の立ち下がり時間、すなわち先行母音の終端 *?vowel-end* から高域パワーの始端 *?hfe-start* までの時間  
(*unvoiced-fricative vowel-offset-time*)  
左が母音であるための弱い証拠、必要条件

b. その間の1000-6000Hzパワー

(unvoiced-fricative vowel-offset-1000-6000-power)

左が母音であるための弱い証拠、必要条件

### sg-uvfric-aft-vowel-done-1

無声摩擦音の始端を決める6。

- 前提

無声摩擦音 unvoiced-fricative

左は母音 vowel

先行母音の終端?vowel-end

高域パワーの始端?hfe-startが先行母音の終端?vowel-endの左20msec、右50msec以内にある

- 検出

a. 高域パワーの始端?hfe-startを無声摩擦音の始端とする。

- 評価

a. 左側音韻環境の確信度?CFcontextを始端の確信度とする。

### sg-uvfric-aft-vowel-done-2

無声摩擦音の始端を決める7。

- 前提

無声摩擦音 unvoiced-fricative

左は母音 vowel

先行母音の終端?vowel-end

高域パワーの始端?hfe-startが見つからなかったか、あるいは先行母音の終端?vowel-endの左20msec、右50msec以内ではなかった8

- 検出

a. 先行母音の終端?vowel-endを無声摩擦音の始端とする。

- 評価

a. 左側音韻環境の確信度?CFcontextを始端の確信度とする。

(無声摩擦音始端の検出、語頭の場合)

### sg-uvfric-at-word-initial-0

直前が母音でないことを確認する。

- 前提

無声摩擦音 unvoiced-fricative

左は語頭 word-initial

音韻候補始端?from、終端?to

- 検出

6 高域パワーが強く、その立ち上がりがはっきりしていて、検出できた場合。

7 高域パワーが弱く、その立ち上がりを検出できなかった場合

8 高域パワーが弱い場合は間違った位置にその始端を検出してしまうことがあるので、高域パワーの始端が見つかった場合でも、その位置を確かめる。

- a. 音韻候補始端?fromの右20msecから左へ100msec以内で、1000-2500Hzパワーが減少する時刻があれば母音終端?vowel-endとする。
- 評価
    - a. 母音終端直前[?vowel-end-30msec, ?vowel-end]の0-500Hzパワー (vowel 0-500-power)  
左が語頭でないことを否定する証拠、十分条件<sup>9</sup>

### sg-uvfric-at-word-initial-1

無音の終端を捜す。

- 前提
  - 無声摩擦音 unvoiced-fricative
  - 左は語頭 word-initial
  - 音韻候補始端?from、終端?to
- 検出
  - a. 音韻候補始端?fromの右20msecから左へ100msec以内で、0-6000Hzパワーが現れる時刻を無音の終端?silence-endとする。

### sg-uvfric-at-word-initial-2

スペクトルのグローバルなピークを捜す<sup>10</sup>。

- 前提
  - 無声摩擦音 unvoiced-fricative
  - 左は語頭 word-initial
  - 音韻候補始端?from、終端?to
- 検出
  - a. 音韻候補始端付近[?from, ?from+20msec]でのスペクトルのグローバルなピーク<sup>11</sup>の周波数とピーク値を求める。

### sg-uvfric-at-word-initial-3

高域パワー(摩擦パワー)の始端を捜す。

- 前提
  - 無声摩擦音 unvoiced-fricative
  - 左は語頭 word-initial
  - 無音の終端?silence-end
  - もしあれば、スペクトルのグローバル・ピーク?peak-freq
- 検出
  - a. 無音の終端?silence-endの左20msecから右へ50msec以内で、スペクトルのグローバルなピークの周波数?peak-freqがある場合にはその周波数付近[?peak-freq±500Hz]、ない場合には4000-6000Hzのパワーが増加する時刻を高域パワーの始端?frication-startとする<sup>12</sup>。

<sup>9</sup> 確信度の否定(-?CFvowel)が、語頭であるための必要条件。

<sup>10</sup> /s/, /sh/ではスペクトリにグローバルなピークはなく、摩擦性の/h/に対してグローバルなピークが求まる。

<sup>11</sup> スムージング・サイズを大きくする(?\*spectrum-global-peak-moving-average-size\*=25ポイント)。

<sup>12</sup> 摩擦性の/h/では3000-4000Hzにスペクトルのピークがあり、その付近でのパワー増加の時点が始端となる。

### sg-uvfric-at-word-initial-4

左側がずっと無音であることを確認する。

- 前提
  - 無声摩擦音 **unvoiced-fricative**
  - 左は語頭 **word-initial**
  - 高域パワーの始端 **?frication-start**
- 検出
  - a. 高域パワーの始端 **?frication-start** の右30msecから左へ60msec以内で、0-6000Hzパワーが始まる時刻を単語始端 **?word-start** とする。
  - b. 単語始端 **?word-start** から左へ500msec以内で、0-6000Hzパワーが終わっている時刻を捜す。
  - c. 0-6000Hzパワーが見つからなければ、「左がずっと無音であること」の確信度を0.8にし、見つければ-0.8にする。
- 評価
  - a. 「左がずっと無音であること」は、左が語頭であることの証拠、必要条件。

### sg-uvfric-at-word-initial-done

左が語頭である場合の、無声摩擦音の始端を決める。

- 前提
  - 無声摩擦音 **unvoiced-fricative**
  - 左は語頭 **word-initial**
  - 高域パワーの始端 **?frication-start**
- 検出
  - a. 高域パワーの始端 **?frication-start** を無声摩擦音の始端とする。
- 評価
  - a. 左が語頭であることの確信度 **?CFcontext** を始端の確信度とする。

(無声摩擦音始端の検出、左が無声破裂音の場合)

### sg-uvfric-aft-stop-1

高域パワー(摩擦パワー)の始端を捜す。

- 前提
  - 無声摩擦音 **unvoiced-fricative**
  - 左は無声破裂音 **stop**
  - 音韻候補始端 **?from**、終端 **?to**
- 検出
  - a. 音韻候補終端 **?to** から左へ200msec以内で、4000-6000Hzのパワーが増加する時刻を高域パワーの始端 **?frication-start** とする。

### sg-uvfric-aft-stop-2

もし左に母音があれば、母音の終端から高域パワーの始端までの時間を検証する<sup>13</sup>。

- 前提
  - 無声摩擦音 unvoiced-fricative
  - 左は無声破裂音 stop
  - 音韻候補始端 ?from、終端 ?to
  - 高域パワーの始端 ?frication-start
- 検出
  - a. 音韻候補始端 ?from の右 20msec から左へ 100msec 以内で、1000-2500Hz パワーが減少する時刻があれば、母音終端 ?vowel-end とする。
- 評価
  - a. 母音終端 ?vowel-end から高域パワーの始端 ?frication-start までの時間  
(unvoiced-fricative vowel-offset-time)  
左が無声破裂音であること(先行母音が無声化していること)を否定する証拠、十分条件となる。

### sg-uvfric-aft-stop-3

先行する無声破裂音のパワーを検証する。

- 前提
  - 無声摩擦音 unvoiced-fricative
  - 左は無声破裂音 stop
  - 音韻候補始端 ?from、終端 ?to
  - 高域パワーの始端 ?frication-start
- 評価
  - a. 高域パワーの始端直前[?frication-start-30msec, ?frication-start] の 0-500Hz パワー  
(unvoiced-stop 0-500-power-at-aspiration-end)  
左が破裂音であるための必要条件
  - b. 高域パワーの始端直前[?frication-start-30msec, ?frication-start] の 4000-6000Hz パワー  
(unvoiced-stop 4000-6000-power-at-aspiration-end)  
左が破裂音であるための弱い証拠、必要条件

### sg-uvfric-aft-stop-4

先行する無声破裂音の継続時間を検証する。

- 前提
  - 無声摩擦音 unvoiced-fricative
  - 左は無声破裂音 stop
  - 音韻候補始端 ?from、終端 ?to
  - 高域パワーの始端 ?frication-start
- 検出
  - a. 高域パワーの始端 ?frication-start の左 150msec 以内で、4000-6000Hz パワーが増加する時刻を先行破裂音のアスピレーション部始端 ?aspiration-start とする。
- 評価

13 先行母音と無声摩擦音の間のパワーギャップを無声破裂音のクロージャと間違えることがあるので、そのパワーギャップの継続時間によってクロージャかどうかを判定する。

- a. 先行する無声破裂音のアスピレーション部の継続時間、すなわちアスピレーション部始端?aspiration-startから高域パワーの始端?frication-startまでの時間  
(unvoiced-stop aspiration-duration-before-fricative)  
左が破裂音であることの証拠、必要条件

### sg-uvfric-aft-stop-done

左が無声破裂音である場合の、無声摩擦音の始端を決める。

- 前提
  - 無声摩擦音 unvoiced-fricative
  - 左は無声破裂音 stop
  - 高域パワーの始端?frication-start
- 検出
  - a. 高域パワーの始端?frication-startを無声摩擦音の始端とする。
- 評価
  - a. 左が語頭であることの確信度?CFcontextを始端の確信度とする。

(無声摩擦音終端の検出、右が母音の場合)

### sg-uvfric-bfr-vowel-1

後続母音の始端を捜す。

- 前提
  - 無声摩擦音 unvoiced-fricative
  - 右は母音 vowel
  - 音韻候補始端?from、終端?to
- 検出
  - a. 音韻候補始端?fromの右20msecから右へ300msec以内で、0-500Hzパワーが始まる時刻を後続母音の大まかな始端?vowel-regionとする。
  - b. 後続母音の大まかな始端?vowel-regionの右20msecから左へ60msec以内で、0-500Hzパワーが増加する時刻を後続母音始端?vowel-startとする。
- 評価
  - a. 後続母音始端直後[?vowel-start+7.5msec、?vowel-start+22.5msec]の0-500Hzパワー  
(vowel 0-500-power)  
右が母音であることの証拠、必要条件

### sg-uvfric-bfr-vowel-1b

閾値を小さくして、後続母音の始端を捜す。

- 前提
  - 無声摩擦音 unvoiced-fricative
  - 右は母音 vowel
  - 音韻候補始端?from、終端?to
- 検出

- a. 音韻候補始端?fromの右20msecから右へ300msec以内で、0-500Hzパワーが始まる時刻が見つからない。
  - b. より小さな閾値で、音韻候補始端?fromの右20msecから右へ300msec以内で、0-500Hzパワーが始まる時刻を捜し、後続母音の大まかな始端?vowel-regionとする。
  - c. 後続母音の大まかな始端?vowel-regionの右20msecから左へ60msec以内で、0-500Hzパワーが増加する時刻を後続母音始端?vowel-startとする。
- 評価
    - a. 後続母音始端直後[?vowel-start+7.5msec、?vowel-start+22.5msec] の0-500Hzパワー  
(vowel 0-500-power)  
右が母音であることの証拠、必要条件

### sg-uvfric-bfr-vowel-3

後続母音が摩擦音直後の母音であること(後続破裂音の後ろの母音でないこと)を確認する。

- 前提
  - 無声摩擦音 unvoiced-fricative
  - 右は母音 vowel
  - 音韻候補始端?from、終端?to
  - 後続母音始端?vowel-start
- 検出
  - a. 後続母音始端?vowel-startから左へ音韻候補終端?toまでで、クロージャを捜す。
- 評価
  - a. クロージャの確信度?CFclosure  
右が母音であることを否定する証拠、十分条件

### sg-uvfric-bfr-vowel-done

右が母音である場合の、無声摩擦音の終端を決める。

- 前提
  - 無声摩擦音 unvoiced-fricative
  - 右は母音 vowel
  - 後続母音始端?vowel-start
- 検出
  - a. 後続母音始端?vowel-startを無声摩擦音の終端とする。
- 評価
  - a. 右が母音であることの確信度?CFcontextを終端の確信度とする。

(無声摩擦音終端の検出、右が無声破裂音または無声破擦音の場合)

### sg-uvfric-bfr-stop-or-affr-2

後続する無声破裂音または破擦音の探索範囲を決める。

- 前提
  - 無声摩擦音 **unvoiced-fricative**
  - 右は無声破裂音または破擦音 **stop-or-affricate**
  - 音韻候補始端?from、終端?to
- 検出
  - a. 音韻候補始端?fromの右20msecから右へ500msec以内で、0-500Hzパワーが始まる時刻+20msecを最大探索時刻?max-end-timeとする。

### sg-uvfric-bfr-stop-or-affr-3

後続する無声破裂音または破擦音のクロージャがあることを確認する。

- 前提
  - 無声摩擦音 **unvoiced-fricative**
  - 右は無声破裂音または破擦音 **stop-or-affricate**
  - 音韻候補始端?from、終端?to
  - 最大探索時刻?max-end-time
- 検出
  - a. 音韻候補終端?toの左20msecから右へ、最大探索時刻?max-end-timeの左20msecまでで、クロージャを捜す。
- 評価
  - a. クロージャの確信度?CFclosure
    - 右が無声破裂音または破擦音であることの強い証拠、必要条件

### sg-uvfric-bfr-stop-or-affr-4

後続母音が確かに無声化していることを確かめる<sup>14</sup>。

- 前提
  - 無声摩擦音 **unvoiced-fricative**
  - 右は無声破裂音または破擦音 **stop-or-affricate**
  - 音韻候補始端?from、終端?to
  - 後続する無声破裂音または破擦音のクロージャの始端?cl-start
- 検出
  - a. 音韻候補終端?toの左20msecから、後続する無声破裂音または破擦音のクロージャの始端?cl-startまでで、0-500Hzパワーが増加する時刻があれば後続母音の始端?vowel-startとする。
- 評価
  - a. 後続母音の始端直後[?vowel-start+7.5msec、?vowel-start+22.5msec]の0-500パワー
    - (vowel 0-500-power)
    - 右は無声破裂音または破擦音であることを否定する証拠、十分条件

### sg-uvfric-bfr-stop-or-affr-done-1

右が母音である場合の、無声摩擦音の終端を決める。

<sup>14</sup> 母音が無声化していない場合は、sg-uvfric-bfr-stop-or-affr-2はその母音の始端を最大探索時刻?max-end-timeとし、この結果sg-uvfric-bfr-stop-or-affr-3が適用されない。しかし、母音が無声化していなくても、継続長が短く弱い低域パワーしかない場合、sg-uvfric-bfr-stop-or-affr-2は間違ってもうひとつ後ろの母音を最大探索時刻?max-end-timeとしてしまう。このルールではパワー変化によって弱い母音を見つける。

- 前提
  - 無声摩擦音 **unvoiced-fricative**
  - 右は無声破裂音または破擦音 **stop-or-affricate**
  - 後続する無声破裂音または破擦音のクロージャの始端 **?cl-start**
- 検出
  - a. 後続する無声破裂音または破擦音のクロージャの始端 **?cl-start** を無声摩擦音の終端とする。
- 評価
  - a. 右が母音であること確信度 **?CFcontext** を終端の確信度とする。

#### 4.2.5 音韻境界の再評価、競合解消

##### sg-uvfric-end-at-word-initial-2

検出された無声摩擦音の直前に低域パワーのないことを確認する<sup>15</sup>。

- 前提
  - 無声摩擦音 **unvoiced-fricative**
  - 始端 **?start**、終端 **?end** が検出されている
  - 左が語頭 **word-initial**
  - 摩擦パワー始端 **?frication-start**
- 評価
  - a. 摩擦パワー始端直前 [**?frication-start-30msec**、**?frication-start**] の **0-200Hz** パワー  
(**unvoiced-fricative 0-200-power-at-word-initial**)  
無声摩擦音であることの弱い証拠、必要条件

##### sg-uvfric-end-conflicting-with-uvstop-1

無声摩擦音と無声破裂音とが同じ位置に検出されたとき、無声摩擦音の確信度を下げる<sup>16</sup>。

- 前提
  - 無声摩擦音 **unvoiced-fricative** が検出された
  - 始端 **?start1**、終端 **?end1**、左は破裂音 **stop**、確信度 **?CFcategory1**
  - 無声破裂音 **unvoiced-stop** が検出された
  - 始端 **?start2**、終端 **?end2**、左は破裂音 **stop**、確信度 **?CFcategory2**
  - 声摩擦音の始端 **?start1** が、無声破裂音の始端 **?start2**、終端 **?end2** の間にある
  - 無声摩擦音区間の中央が、無声破裂音終端 **?end2** の左にあることを確認する
- 評価
  - a. 無声摩擦音の確信度 **?CFcategory1** を 0.5 下げる。

##### sg-uvfric-end-conflicting-with-uvstop-2

語頭に無声摩擦音と無声破裂音とが語頭に検出されたとき、無声摩擦音の確信度を下げ

- <sup>15</sup> 語頭の有声摩擦音 /z/ ではバズバーが非常に弱く、無声摩擦音として検出されてしまうことがある。このルールでは誤って検出された有声摩擦音を取り除く。
- <sup>16</sup> 無声摩擦音のルールは、無声破裂音、破擦音のアスピレーション部を無声摩擦音として誤って検出することがある。この場合、同じ位置に無声破裂音も検出されるので、これを優先させる。

る17。

- 前提

- 無声摩擦音 unvoiced-fricative が検出された

- 始端?start1、終端?end1、左は語頭 word-initial、確信度?CFcategory1

- 無声破裂音 unvoiced-stop が検出された

- 始端?start2、終端?end2、左は語頭 word-initial、確信度?CFcategory2

- 無声摩擦音区間の中央が、無声破裂音区間内にあることを確認する

- 無声破裂音区間の中央が、無声摩擦音区間内にあることを確認する

- 評価

- α. 無声摩擦音の確信度?CFcategory1を0.5下げる。

17 語頭の無声破裂音、破裂音にはクロージャがないため、無声摩擦音と区別が難しい。無声摩擦音のルールはアスピレーション部を無声摩擦音として誤って検出する。しかし、無声破裂音のルールは語頭に破裂があるときだけ無声破裂音を検出する。そこで、語頭に無声破裂音と無声摩擦音の両方が見つかった場合には無声破裂音を優先させる。

## 4.3 気音 (h)

### 4.3.1 概略

語頭・語中の /h/ を検出する。語頭は音声開始位置から低域パワーが弱くてそのパワーが増加する区間を検出する。語中は低域パワーが弱くてそのパワーが減少した後、増加するまでの区間を検出する。左側の音韻環境の仮説は、無音(語頭の場合)、母音、摩擦音<sup>1</sup>(p,t,k,ch,ts,s,sh,hによる先行母音の無声化の場合)を仮説する。同様に右側の音韻環境の仮説は、母音、無音(p,t,k,ch,tsによる後続母音の無声化の場合)、摩擦音<sup>2</sup>(s,sh,hによる後続母音の無声化の場合)を仮説する。後続母音が/i/である気音/h/は無声摩擦音として検出される。

### 4.3.2 音韻候補の検出

#### get-h-region-candidates

低域パワーがかなり弱く、低域において比較的長い継続時間のパワーディップが存在する区間?from ?to をH-CANDIDATE検出する

#### sg-h-0

気音候補を検出する。

- 検出

- a. 語頭: 音声開始位置(0-6000Hzのパワー > -70dB)から、母音開始位置(0-500Hzのパワーの増加位置)までの区間。
  - b. 語中: 母音終了位置(0-500Hzのパワーの減少位置)から、母音開始位置(0-500Hzのパワーの増加位置)までの区間。
  - c. 0-1000Hzのパワーがあまりない (< -35dB)。
  - d. 0-500Hzのパワーがあまりない (< -45dB)。
- a, c, d または、b, c, d を満足する音声区間 ?from ?to を検出し、(?from+?to)/2を気音候補位置とする。

- 評価

- a. ?from から?to の0-1000Hzのパワー  
(h-0-1000-power)  
証拠
- b. ?from から?to の1000-5000Hzのパワー  
(h-1000-5000-power)  
証拠
- c. ?from から?to の1000-5000Hzと0-1000Hzのパワー比  
(h-1000-5000-0-1000-power-ratio)  
証拠、必要条件

注1 左側が摩擦音の音韻環境仮説はまだルール化されていない。

注2 右側が摩擦音の音韻環境仮説はまだルール化されていない。

- d. ?from から ?to の 1000-5000Hz と 5000-6000Hz のパワー比  
(h-1000-5000-5000-6000-power-ratio)  
証拠、必要条件

### 4.3.3 音韻環境の仮説

#### sg-h-left

気音の左側音韻環境 left-context として以下を仮説する。

- 仮説
  - a. 無音                    silence (語頭の場合)
  - b. 母音母音              vowel
  - c. 摩擦音                  fricative (p,t,k,ch,ts,s,sh,h による先行母音の無声化の場合)<sup>3</sup>

#### sg-h-right

気音の右側音韻環境 right-context として以下を仮説する。

- 仮説
  - a. 母音                    vowel
  - b. 無音                    silence (p,t,k,ch,ts による後続母音の無声化の場合)
  - c. 摩擦音                  fricative (s,sh,h による後続母音の無声化の場合)<sup>4</sup>

### 4.3.4 音韻境界の検出、評価

#### sg-h-left-silence-1

先行無音の終端を検出する。

- 前提
  - 気音                      h
  - 左側が無音              silence
  - 音韻候補始終端        ?from ?to
- 検出
  - a. 0-6000Hz パワーより音声開始位置 ?power-start (音韻候補始端 ?from と 200msec 以上離れていない) を探す。
  - b. 音声開始位置 ?power-start と音韻候補始端 ?from の間に 0-4000Hz のパワーの減少が見られない。
  - c. 音声開始位置 ?power-start 付近の 1000-6000Hz 内での最大スペクトラムピークを与える帯域での音声開始位置 ?h-start を探す。
- 評価
  - a. 左側の音韻環境が無音であるかを検証。( ?h-start-50msec から ?h-start までの 0-6000Hz のパワーがない。 )  
(h-power-is-silence)  
証拠、必要条件

注3 右が摩擦音の音韻環境仮説はまだルール化されていない。

注4 左が摩擦音の音韻環境仮説はまだルール化されていない。



- 前提
 

気音	h
左側が母音	vowel
音韻候補始終端	?from ?to
- 検出
  - a. 音韻候補終端?fromより前方に0-4000Hzのパワーの減少位置?vowel-endを捜す。
  - b. ?vowel-end付近でのスペクトラム 変化極大値?valueとその位置?sp-chg-posを捜す。
  - c. スペクトラム変化極大位置?sp-chg-pos付近での0-4000Hzでの最大スペクトラムピークを与える帯域でのパワーの減少が存在する。
  - d. スペクトラム変化極大位置?sp-chg-pos-20msecよりさらに70msec後方以内に2000-6000Hzでパワーの増加位置を気音開始位置?h-posとする。(摩擦性が強い場合は、摩擦開始位置とする)
- 評価
  - a. 音韻候補終端?fromより前方に0-4000Hzのパワーの減少位置?vowel-end付近でのスペクトラム変化極大値?value  
(h-spectral-change-left)  
強い証拠、必要条件
  - b. スペクトラム変化極大位置?sp-chg-pos-20msecよりさらに70msec後方以内に2000-6000Hzでパワーの増加量?change-increase-2000-6000  
(h-2000-6000-power-increase)  
証拠、必要条件
  - c. 左側の母音性:?h-pos-20msec から?h-pos の0-1000Hzパワー  
(vowel-by-h 0-1000-power)  
弱い証拠
  - d. 左側の母音性:?h-pos-20msec から?h-pos の1000-6000Hzパワー  
(vowel-by-h 1000-6000-power)  
弱い証拠
  - e. 左側の母音性:?h-pos-20msec から?h-pos の0-1000Hzと5000-6000Hzパワー比  
(h-vowel-power-ratio-0-1000-5000-6000)  
証拠

### sg-h-left-vowel-3

先行母音の終端を検出する。

- 前提
 

気音	h
左側が母音	vowel
音韻候補始終端	?from ?to
- 検出
  - a. 音韻候補終端?fromより前方に0-4000Hzのパワーの減少位置?vowel-endを捜す。
  - b. ?vowel-end付近でのスペクトラム 変化の極大値?valueとその位置?sp-chg-posを捜す。
  - c. ?sp-chg-pos付近での0-4000Hzでの最大スペクトラムピークを与える帯域でのパワーの減少が存在する。

- d. スペクトラム変化極大位置?sp-chg-pos-20msecよりさらに70msec後方以内に2000-6000Hzでパワーの増加位置を摩擦性が強い場合は、摩擦開始位置?fric-posとする。
- e. スペクトラム変化極大位置?sp-chg-posと摩擦開始位置?fric-posの間で、低域0-500Hzパワーの減少位置?h-posが存在する。
- 評価
  - a. 音韻候補終端?fromより前方に0-4000Hzのパワーの減少位置?vowel-end付近でのスペクトラム変化極大値?value  
(h-spectral-change-left)  
強い証拠、必要条件
  - b. ?sp-chg-posよりさらに70msec後方以内に2000-6000Hzでパワーの増加量?change-increase-2000-6000  
(h-2000-6000-power-increase)  
証拠、必要条件
  - c. 左側の母音性:?h-pos-20msec から?h-pos の0-1000Hzパワー  
(vowel-by-h 0-1000-power)  
弱い証拠
  - d. 左側の母音性:?h-pos-20msec から?h-pos の1000-6000Hzパワー  
(vowel-by-h 1000-6000-power)  
弱い証拠
  - e. 左側の母音性:?h-pos-20msec から?h-pos の0-1000Hzと5000-6000Hzパワー比  
(h-vowel-power-ratio-0-1000-5000-6000)  
証拠

### defcontradiction 1st-or-2nd-peak-h-left

1つの仮説からは、1つの母音終端 preceding-vowel-end-timeしか仮定しない。

### sg-h-left-vowel-done-1

気音の始端を見つける。

- 前提
  - 気音                    h
  - 左側が母音        vowel (確信度?CFcontext)
- 検出
  - a. 先行母音の終端が音韻始端 start-time である。
- 評価
  - a. 左側環境の確信度 ?CFcontextを、音韻始端 start-time の確信度とする。  
先行母音の終端。

### sg-h-right-silence-1

後続無音の始端を検出する。

- 前提
  - 気音                    h
  - 右側が無音            silence
  - 音韻候補始終端        ?from ?to

- 検出
  - a. 0-6000Hzパワーより音声終了位置?power?-endを捜す。
  - b. 音声終了位置?power?-endと音韻候補終端?toの間に0-4000Hzのパワーの増加が見られない。
  - c. 音声終了位置?power?-end付近の1000-6000Hz内での最大スペクトラムピークを与える帯域での音声終了位置?h?-endを捜す。
- 評価
  - a. 右側の音韻環境が無音であることを検証。( ?h?-endから?h?-end+50msecまでの0-6000Hzのパワーがない。 )  
     (h-power-is-silence-closure)  
     証拠、必要条件

### sg-h-right-silence-done-1

気音の終端を見つける。

- 前提
 

気音	h
右側が無音	silence (確信度?CFcontext)
- 検出
  - a. 後続無音の始端が音韻終端 end-time である。
- 評価
  - a. 右側環境の確信度 ?CFcontextを、音韻終端 end-time の確信度とする。  
後続無音の始端。

### sg-h-right-vowel-1

後続母音の始端を検出する。

- 前提
 

気音	h
右側が母音	vowel
音韻候補始終端	?from ?to
- 検出
  - a. 音韻候補始端?toより後方に0-4000Hzのパワーの増加位置?vowel-startを捜す。
  - b. ?vowel-start付近でのスペクトラム変化の極大値?valueとその位置?sp-chg-posを捜す。
  - c. ?sp-chg-pos付近での0-4000Hzでの最大スペクトラムピークを与える帯域でのパワーの増加位置?posを捜す。
  - d. ?posよりさらに30msec前方以内に同じ帯域でパワーの増加位置?pos1があれば?pos1を気音終了位置?h-pos、なければ?posを気音終了位置?h-posとする。
- 評価
  - a. 音韻候補始端?toより後方に0-4000Hzのパワーの増加位置?vowel-start付近でのスペクトラム変化の極大値?value  
     (h-spectral-change-right)  
     強い証拠、必要条件



気音の終端を見つける。

- 前提
  - 気音                    h
  - 右側が母音        vowel (確信度?CFcontext)
- 検出
  - a. 後続母音の始端が音韻終端 end-time である。
- 評価
  - a. 右側環境の確信度 ?CFcontext を、音韻終端 end-time の確信度とする。  
後続母音の始端。

#### 4.3.5 音韻境界の再評価、競合解消

##### sg-h-duration-time

気音の継続時間長及びパワーディップの大きさで検証する。  
音韻の確信度を変更する。

- 前提
  - 気音                    h
  - 音韻始端                ?start
  - 音韻終端                ?end
- 評価
  - a. ?start から ?end の継続時間長。  
(h-segmenting-duration-time)  
強い証拠、必要条件
  - b. 音韻始端 ?start より後方に 1000-4000Hz のパワーの増加を捜し増加値 ?s-value,  
音韻終端 ?end より前方に 1000-4000Hz のパワーの減少を捜し増加値 ?e-value,  
の和(?s-value+?e-value) で評価。  
(h-inc-dec-value)  
強い証拠

##### sg-h-end-conflicting-with-vstop-1

無声破裂音と気音とが同じ位置に検出されたとき、気音の確信度を下げる<sup>5</sup>。

- 前提
  - 気音 h が検出された。  
始端 ?start1、終端 ?end1、確信度 ?CFcategory1
  - 無声破裂音 unvoiced-stop が検出された。  
始端 ?start2、終端 ?end2、左は破裂音 stop、確信度 ?CFcategory2
  - 気音区間の中央が、無声破裂音の始端終端の間あることを確認する、もしくは、  
無声摩擦音区間の中央が、気音の始端終端の間あることを確認する。
- 評価
  - a. 気音の確信度 ?CFcategory1 を 0.5 下げる。

<sup>5</sup> 気音のルールは、無声破裂音として誤って検出することがある。この場合、同じ位置に無声破裂音も検出されるので、これを優先させる。

## 4.4 有声摩擦音(z)

### 4.4.1 概略

中域パワー対する高域パワーおよび低域パワーの存在によって音韻候補を検出する。音韻環境の仮説は左が語頭、母音、右は語頭だけである。有声破擦音/dʒ/は有声摩擦音かあるいは有声破裂音として検出される。

### 4.4.2 音韻候補の検出

#### sg-vfric-bottom-up-1

5000-6000Hz/1000-3000Hzパワー比の極大時刻 ?time を検出する。

#### sg-vfric-0

有声摩擦音候補を検出する。

- 検出
  - a. 5000-6000Hz/1000-3000Hzパワー比の極大時刻?timeを有声摩擦音候補として仮説する。
- 評価
  - a. 5000-6000Hz/1000-3000Hzパワー比の極大値  
(voiced-fricative high-middle-freq-power-ratio-peak)  
弱い証拠、必要条件
  - b. [?time-20, ?time+20]の0-500Hzパワー  
(voiced-fricative voicing-power)  
弱い証拠、必要条件
  - c. [?time-20, ?time+20]の1000-2000Hzパワー  
(voiced-fricative 1000-2000-power)  
弱い証拠、必要条件
  - d. [?time-20, ?time+20]の0-500Hz/1000-2000Hzパワー比  
(voiced-fricative 0-500-1000-2000-power-ratio)  
弱い証拠、必要条件

### 4.4.3 音韻環境の仮説

#### sg-vfric-left

有声摩擦音の左側音韻環境 left-context として以下を仮説する。

- 仮説
  - a. 語頭 word-initial
  - b. 母音 vowel

#### sg-vfric-right

有声摩擦音の右側音韻環境 right-context として以下を仮説する。

- 仮説
  - a. 母音 vowel

#### 4.4.4 音韻境界の検出、評価

(有声摩擦音始端の検出、左が母音の場合)

##### sg-vfric-aft-vowel-1

先行母音の終端を検出する。

- 前提
  - 有声摩擦音 **voiced-fricative**
  - 左側が母音 **vowel**
  - 音韻候補終端 ?to
- 検出
  - a. 音韻候補終端 ?to の右20msecから左へ200msec以内で、1000-3000Hzパワーが減少する時刻 ?here を先行母音の終端 **preceding-vowel-end-time** とする。
- 評価
  - a. 先行母音の終端直前[?here-30msec, ?here]の0-500Hzパワー (**vowel 0-500-power**)  
強い証拠、必要条件

##### sg-vfric-aft-vowel-2

有声のクロージャー部を見つける。

- 前提
  - 有声摩擦音 **voiced-fricative**
  - 左側が母音 **vowel**
  - 音韻候補終端 ?to
  - 先行母音の終端 ?vowel-end
- 検出
  - a. 音韻候補終端 ?to から左へ100msec以内で、1000-6000Hzパワーが増加する時刻をクロージャー終端 ?cl-end とする。
  - b. クロージャー終端 ?cl-end が先行母音の終端 ?vowel-end の左20msecより右にあること確かめる。
  - c. クロージャー終端 ?cl-end から左へ100msec以内で、1000-6000Hzパワーが減少する時刻がクロージャー始端 ?cl-start である。

##### sg-vfric-aft-vowel-done-1

有声摩擦音の始端を見つける。

- 前提
  - 有声摩擦音 **voiced-fricative**
  - 左側が母音 **vowel** (確信度 ?CFcontext)
  - 有声クロージャーまたは先行母音の終端

- 検出
  - a. 有声クロージャーがある場合はその始端、ない場合は先行母音の終端が音韻始端 `start-time` である。
- 評価
  - a. 左側環境の確信度 `?CFcontext` を、音韻始端 `start-time` の確信度とする。

(有声摩擦音始端の検出、語頭の場合)

### sg-vfric-aft-word-initial-0

バーストがあるかどうかを調べる。

- 前提
  - 有声摩擦音 `voiced-fricative`
  - 左側が語頭 `word-initial`
  - 音韻候補終端 `?to`
- 検出
  - a. 音韻候補終端 `?to` の右20msecから左へ200msec以内で1000-3000Hzパワーが急激に減少する時刻 `?burst-end` があり、`?burst-end` から左へ30msec以内で1000-3000Hzパワーが急激に増加する時刻 `?burst-start` があるとき、バーストがある (`has-burst yes`)。それらがなくない場合、バーストはない (`has-burst no`)。

### sg-vfric-aft-word-initial-1a

先行無音の終端(語頭時刻)を求める(バーストがない場合)。

- 前提
  - 有声摩擦音 `voiced-fricative`
  - 左側が語頭 `word-initial`
  - 音韻候補終端 `?to`
  - バーストがない
- 検出
  - a. 音韻候補終端 `?to` の右20msecから左へ200msec以内では、1000-3000Hzパワーの減少がない。
  - b. 音韻候補終端 `?to` の右20msecから左へ200msec以内で、0-6000Hzパワーが現れる時刻を `?power-start` とする。
  - c. 音韻候補終端 `?to` の右20msecから左へ200msec以内で、0-500Hzパワーが現れる時刻を `?low-power-start` とする。
  - d. `?power-start` と `?low-power-start` のうち左にあるものが無音の終端 `silence-end-time` である。

### sg-vfric-aft-word-initial-1c

先行無音の終端を求める(バーストがある場合)。

- 前提
  - 有声摩擦音 `voiced-fricative`
  - 左側が語頭 `word-initial`
  - 音韻候補終端 `?to`

バーストがある

バーストの始端?bu-start、終端?bu-end

- 検出
  - a. バーストの始端?bu-startから左へ200msec以内では、1000-3000Hzパワーの減少がない。
  - b. バーストの終端?bu-endから左へ200msec以内で、0-6000Hzパワーが現れる時刻を?power-startとする。
  - c. バーストの終端?bu-endから左へ200msec以内で、0-500Hzパワーが現れる時刻を?low-power-startとする。
  - d. ?power-start と?low-power-start のうち左にあるものが無音の終端silence-end-time である。

### sg-vfric-aft-word-initial-1b

有声摩擦音のパワーの始点を求める。

- 前提
  - 有声摩擦音 voiced-fricative
  - 左側が語頭 word-initial
  - 左の無音の終端 ?silence-end
- 検出
  - a. 無音の終端 ?silence-end の左50msecから右へ200msec以内で、0-6000Hzパワーが増加する時刻を?power-startとする。
  - b. 無音の終端 ?silence-end の左50msecから右へ200msec以内で、0-500Hzパワーが増加する時刻を?low-power-startとする。
  - c. ?power-start と?low-power-start のうち左にあるものが有声摩擦音のパワーの始点 power-start-time である。

### sg-vfric-aft-word-initial-2

語頭であることを検証する。

- 前提
  - 有声摩擦音 voiced-fricative
  - 左側が語頭 word-initial
  - 音韻候補終端?to
  - 有声摩擦音のパワーの始点?power-start
- 検証
  - a. 有声摩擦音のパワーの始点?power-startから左へ500msec以内には0-6000Hzパワーが存在しない。
    - 強い証拠、必要条件
    - もしあれば、強い否定の証拠となる。

### sg-vfric-aft-word-initial-done-1

有声摩擦音の始端を求める。

- 前提
  - 有声摩擦音 voiced-fricative

左側が語頭 **word-initial**  
 有声摩擦音のパワーの始点 **?power-start**

- 検出
  - a. 有声摩擦音のパワーの始点 **?power-start** が有声摩擦音の始端 **start-time** である。
- 評価
  - a. 左側環境の確信度 **?CFcontext** を音韻始端の確信度とする。

(有声摩擦音終端の検出、右が母音の場合)

### sg-vfric-bfr-vowel-1

後続母音の始端を見つける。

- 前提
  - 有声摩擦音 **voiced-fricative**
  - 右側が母音 **vowel**
  - 音韻候補終端 **?to**
- 検出
  - a. 音韻候補終端 **?to** の左20msecから右へ150msec以内で、0-500Hzパワーが増加する時刻を **?vowel-start** とする。
- 評価
  - a. 後続母音の始端周辺 [**?vowel-start+7.5msec, ?vowel-start+22.5msec**] の0-500Hzパワー  
 (**vowel 0-500-power**)  
 強い証拠、必要条件

### sg-vfric-bfr-vowel-done-1

有声摩擦音の終端を求める。

- 前提
  - 有声摩擦音 **voiced-fricative**
  - 右側が母音 **vowel**
  - 後続母音の始端 **?vowel-start**
- 検出
  - a. 後続母音の始端 **?vowel-start** を有声摩擦音の終端 **?end-time** とする。
- 評価
  - a. 右側環境の確信度 **?CFcontext** を音韻終端の確信度とする。

## 4.5 鼻音 (m,n,g)

### 4.5.1 概略

低域パワーと高域パワーの比の極大値を音韻候補位置とする。語頭の音韻環境は左側を無音、右側を母音、語中の音韻環境は左右側とも母音を仮定する。音韻境界は、0-6000Hzのスペクトラムの変化量の極大値で探す。1

### 4.5.2 音韻候補の検出

#### get-nasal-peak-candidates

0-500Hzと5000-6000Hzのパワー比の極大値で時刻 ?peak-loc 及びその値 ?peak-value を検出し、NASAL-CANDIDATEとする。

#### sg-nasal-0

鼻音候補を検出する。

- 検出
  - a. 0-500Hzと5000-6000Hzのパワー比の極大値の時刻 ?peak-loc を鼻音候補として仮説する。
- 評価
  - a. 0-500Hzと5000-6000Hzのパワー比の極大値  
(nasal-peak-candidate)  
強い証拠、必要条件

### 4.5.3 音韻環境の仮説

#### sg-nasal-pos-in-word

鼻音候補の語頭・語中を仮説する。2

- 仮説
  - a. 語頭 phoneme-pos-in-word head
  - b. 語中 phoneme-pos-in-word middle

#### sg-nasal-left

鼻音の左側音韻環境 left-context として以下を仮説する。

注1 左右の音韻境界をスペクトラムの変化量で探すにあたって左側はパワーの減少、右側はパワーの増加となる位置を探す。特に、音韻/m/の場合入りわりにおいてパワーのディップがあるのでスペクトラムの変化の極大値は2つ目まで探し妥当なほうに決定する。

注2 語頭の母音の高域パワーが非常に小さい時、後続する鼻音が語頭と語中と両方仮説される場合がある。両方とも仮説及び検証を行うことにより、より正しい方に結論される。

- 仮説
  - a. 無音(語頭) **silence**
  - b. 母音 **vowel**

### sg-nasal-right

鼻音の右側音韻環境 **right-context** として以下を仮説する。

- 仮説
  - a. 母音 **vowel**

## 4.5.4 音韻境界の検出、評価

### nasal-pos-head-in-word

鼻音候補が語頭であることを検証する。

- 前提
 

鼻音	<b>nasal</b>
音韻候補始末端	<b>?from ?to</b>
- 検出
  - a. 低域パワー0-500Hzにおいてパワーの開始位置**?power-start**を捜す。  
**?from** と**?power-start**は、100msec以上離れていない。
  - b. **?power-start**の左側が無音であるか検証する。
  - c. 後方に母音開始**?vowel-start**が存在する。候補終端(**?to -10msec**)から後方に5000-6000Hzのパワーが増加する。
  - d. **?power-start** と**?vowel-start**の間に母音終端**?vowel-end**が存在しない。  
5000-6000Hzのパワーの減少がない。
- 評価
 

語頭である確信度を1.0とする。

### nasal-pos-middle-in-word

鼻音候補が語中であることを検証する。

- 前提
 

鼻音	<b>nasal</b>
音韻候補始末端	<b>?from ?to</b>
- 検出
  - a. 後方に母音開始**?vowel-start**が存在する。候補終端**?from** から後方に5000-6000Hzのパワーが増加する。
  - b. 前方に母音終端**?vowel-end**が存在する。候補終端**?to** から前に5000-6000Hzのパワーが減少する。
- 評価
 

語中である確信度を1.0とする。

### sg-head-nasal-left-silence-1

語頭における無音・鼻音の境界(音声開始位置)を見つける。

- 前提

鼻音	nasal
左側が無音	silence
音韻候補始末端	?from ?to
語頭	phoneme-pos-in-word head

- 検出

- 低域パワー0-500Hzにおいてパワーの開始位置?power-startを捜す。
- ?power-startの左側が無音であるか検証する。

- 評価

- ?power-startの左側が無音である。  
(nasal-power-is-silence)  
弱い証拠、必要条件
- 語頭の鼻音性: ?power-startから?power-start+30msecの0-500Hzのパワー?npw-0-500がほどほどにある。  
(head-nasal-0-500-power)  
弱い証拠
- 語頭の鼻音性: ?power-start から?power-start+30msec の500-1000Hzのパワー?npw-500-1000 がほどほどにあるが、?npw-0-500Hzほどではない。  
(head-nasal-500-1000-power)  
弱い証拠
- 語頭の鼻音性: ?npw-0-500と?npw-500-1000 のパワー比  
(nasal-power-ratio-0-500-500-1000)  
弱い証拠<sup>3</sup>

### sg-head-nasal-left-silence-done-1

語頭における鼻音の開始位置を見つける。

- 前提

鼻音	nasal
左側が無音	silence(確信度=?CFcontext)
無音・鼻音の境界	?pos
語頭	phoneme-pos-in-word head

- 検出

- 無音・鼻音の境界(音声開始位置)?posが音韻始端 start-time である。

- 評価

- 左側環境の確信度 ?CFcontextを、音韻始端 start-time の確信度とする。  
音声開始位置

### sg-mid-nasal-left-vowel-1

先行母音の終端を見つける。

- 前提

鼻音	nasal
左側が母音	vowel
音韻候補始末端	?from ?to
語中	phoneme-pos-in-word middle

注3 語頭の母音/a/や/o/などを除くためのルール。

- 検出
  - a. 前方に母音終端?vowel-endが存在する。候補終端?fromから前方に5000-6000Hzの  
パワーが減少する。
  - b. 0-6000Hzのスペクトル変化の1つ目の極大値の位置?posを?fromより100msec前方  
に捜す。
- 評価
  - a. 0-6000Hzのスペクトル変化の1つ目の極大値?value がある程度ある。  
(mid-nasal-spectral-change-left)  
強い証拠、必要条件
  - b. ?pos付近に1000-4000Hzのパワー増加がない。あるときは、その大きさにより確信  
度をさげる。<sup>4</sup>  
(mid-nasal-increase-near-seg-pos)  
証拠、必要条件
  - c. 語中の鼻音性: ?posから?pos+30msec の0-500Hz のパワー?npw-0-500 がほどほ  
どにある。  
(mid-nasal-0-500-power)  
弱い証拠
  - d. 語中の鼻音性: ?pos から?pos+30msec の500-1000Hz のパワー?npw-500-1000  
がほどほどにあるが、?npw-0-500ほどではない。  
(mid-nasal-500-1000-power)  
弱い証拠
  - e. 語中の鼻音性: ?npw-0-500と?npw-500-1000 のパワー比  
(nasal-power-ratio-0-500-500-1000)。  
証拠<sup>5</sup>
  - f. 左側の母音性: 0-1000Hzのパワーがある。(?pos-20msec から?posで)  
(vowel-by-nasal 0-1000-power)  
弱い証拠
  - g. 左側の母音性: 1000-6000Hzのパワーがある。(?pos-20msec から?posで)  
(vowel-by-nasal 1000-6000-power)  
弱い証拠
  - h. 左側の母音性: 0-1000Hzと5000-6000Hzのパワー比が大きい。(?pos-20msec か  
ら?posで)  
(nasal-vowel-power-ratio-0-1000-5000-6000)  
証拠

## sg-mid-nasal-left-vowel-2

先行母音の終端を見つける。

- 前提
 

鼻音	nasal
左側が母音	vowel
音韻候補始終端	?from ?to
語中	phoneme-pos-in-word middle
- 検出

注4 特に、/m/においては、BUZZ-BARのような区間が存在する場合があるためスペクトル変化の1つ目の極大値だけでは決定できない。

注5 語頭の母音/a/や/o/などを除くためのルール。

- a. 前方に母音終端?vowel-endが存在する。候補終端?from から前に5000-6000Hzのパワーが減少する。
- b. 0-6000Hzのスペクトル変化の1つ目の極大値の位置?posを?fromより前方に100msec捜す。
- c. 0-6000Hzのスペクトル変化の2つ目の極大値の位置?pos1を?posより前方に40msec捜す。<sup>6</sup>

● 評価

- a. 0-6000Hzのスペクトル変化の2つ目の極大値?value1 がある程度ある。  
(mid-nasal-spectral-change-left)  
強い証拠、必要条件
- b. ?pos付近に1000-4000Hzのパワー増加がない。あるとき派、その大きさにより確信度をさげる。  
(mid-nasal-increase-near-seg-pos)  
証拠、必要条件
- c. 語頭の鼻音性: ?pos1から?pos1+30msec の0-500Hzのパワー?npw-0-500 がほどほどにある。  
(mid-nasal-0-500-power)  
弱い証拠
- d. 語頭の鼻音性: ?pos1 から?pos1+30msec の500-1000Hzのパワー?npw-500-1000がほどほどにあるが、?npw-0-500ほどではない。  
(mid-nasal-500-1000-power)  
弱い証拠
- e. 語頭の鼻音性: ?npw-0-500と?npw-500-1000 のパワー比  
(nasal-power-ratio-0-500-500-1000)  
証拠 <sup>7</sup>
- f. 左側の母音性: 0-1000Hzのパワーがある。( ?pos1-20msec から?pos1で)  
(vowel-by-nasal 0-1000-power)  
弱い証拠
- g. 左側の母音性: 1000-6000Hzのパワーがある。( ?pos1-20msec から?pos1で)  
(vowel-by-nasal 1000-6000-power)  
弱い証拠
- h. 左側の母音性: 0-1000Hzと5000-6000Hzのパワー比が大きい。( ?pos1-20msec から?pos1で)  
(nasal-vowel-power-ratio-0-1000-5000-6000)  
証拠

### defcontradiction 1st-or-2nd-peak-mid-nasal-left

1つの仮説からは、1つの母音終端 preceding-vowel-end-timeしか仮定しない。

### sg-mid-nasal-left-vowel-done-1

語中における鼻音の開始位置を見つける。

注6 特に、/m/においては、BUZZ-BARのような区間が存在する場合があるためスペクトル変化の1つ目の極大値だけでは決定できない。

注7 語頭の母音/a/や/o/などを除くためのルール。

- 前提
 

鼻音	nasal
左側が無音	vowel(確信度=?CFcontext)
母音の終端	?pos
語中	phoneme-pos-in-word middle
- 検出
  - a. 母音の終端?posが音韻始端 start-time である。
- 評価
  - a. 左側環境の確信度 ?CFcontextを、音韻始端 start-time の確信度とする。  
母音の終端

### sg-head-nasal-right-vowel-1

後続母音の始端を見つける。

- 前提
 

鼻音	nasal
右側が母音	vowel
音韻候補始終端	?from ?to
語中	phoneme-pos-in-word head
- 検出
  - a. 後方に母音始端?vowel-start が存在する。候補終端?to-10msec から後方に5000-6000Hzのパワーが増加する。
  - b. 0-6000Hzのスペクトル変化の1つ目の極大値の位置?posを?to-10msec より100msec後方に探す。<sup>8</sup>
  - c. ?pos付近に1000-4000Hzのパワーの減少がない。
- 評価
  - a. 0-6000Hzのスペクトル変化の1つ目の極大値?value がある程度ある。  
(head-nasal-spectral-change-right)  
強い証拠、必要条件
  - b. 語中の鼻音性: ?pos-30msec から?pos の0-500Hzのパワー?npw-0-500 がほどほどにある。  
(head-nasal-0-500-power)  
弱い証拠
  - c. 語中の鼻音性: ?pos-30msec から?pos の500-1000Hzのパワー?npw-500-1000 がほどほどにあるが、?npw-0-500ほどではない。  
(head-nasal-500-1000-power)  
弱い証拠
  - d. 語中の鼻音性: ?npw-0-500と?npw-500-1000 のパワー比  
(nasal-power-ratio-0-500-500-1000)。  
証拠<sup>9</sup>
  - e. 右側の母音性: 0-1000Hzのパワーがある。(?posから?pos+20msec で)  
(vowel-by-nasal 0-1000-power)  
弱い証拠

注8 特に、/m/においては、BUZZ-BARのような区間が存在する場合があるためスペクトル変化の1つ目の極大値だけでは決定できない。

注9 語頭の母音/a/や/o/などを除くためのルール。

- f. 右側の母音性: 1000-6000Hzのパワーがある。( ?pos から ?pos+20msec で)  
 (vowel-by-nasal 1000-6000-power)  
 弱い証拠
- g. 右側の母音性: 0-1000Hzと5000-6000Hzのパワー比が大きい。( ?pos から ?pos+20msec で)  
 (nasal-vowel-power-ratio-0-1000-5000-6000)  
 証拠

## sg-head-nasal-right-vowel-2

後続母音の始端を見つける。

### ● 前提

鼻音	nasal
右側が母音	vowel
音韻候補始末端	?from ?to
語中	phoneme-pos-in-word head

### ● 検出

- a. 後方に母音始端?vowel-start が存在する。候補終端?to-10msec から後に5000-6000Hzのパワーが増加する。
- b. 0-6000Hzのスペクトル変化の1つ目の極大値の位置?posを?to-10msec より100msec 後方に探す。
- c. 0-6000Hzのスペクトル変化の2つ目の極大値の位置?pos1を?posより70msec 後方に探す。10
- d. ?pos1付近に1000-4000Hzのパワーの減少がない。

### ● 評価

- a. 0-6000Hzのスペクトル変化の2つ目の極大値?value1 がある程度ある。  
 (head-nasal-spectral-change-right)  
 強い証拠、必要条件
- b. 語中の鼻音性: ?pos1-30msec から?pos1 の0-500Hzのパワー?npw-0-500 がほとんどにある。  
 (head-nasal-0-500-power)  
 弱い証拠
- c. 語中の鼻音性: ?pos1-30msec から?pos1 の500-1000Hzのパワー?npw-500-1000 がほとんどにあるが、?npw-0-500ほどではない。  
 (head-nasal-500-1000-power)  
 弱い証拠
- d. 語中の鼻音性: ?npw-0-500と?npw-500-1000 のパワー比  
 (nasal-power-ratio-0-500-500-1000)  
 証拠
- e. 右側の母音性: 0-1000Hzのパワーがある。( ?pos1 から ?pos1+20msec で)  
 (vowel-by-nasal 0-1000-power)  
 弱い証拠

注10特に、/m/においては、BUZZ-BARのような区間が存在する場合があるためスペクトル変化の1つ目の極大値だけでは決定できない。このため、2つ目の極大値も探し0-4000Hzのパワーの減少のある方を音韻境界に決定する。

f. 右側の母音性: 1000-6000Hzのパワーがある。( ?pos1 から ?pos1+20msec で)

(vowel-by-nasal 1000-6000-power)

弱い証拠

g. 右側の母音性: 0-1000Hz と 5000-6000Hz の パワー 比 が 大 き い。( ?pos1 か  
ら ?pos1+20msec で)

(nasal-vowel-power-ratio-0-1000-5000-6000)

証拠

### sg-head-nasal-right-vowel-done-1

語中における鼻音の開始位置を見つける。

- 前提

鼻音	nasal
右側が母音	vowel(確信度 = ?CFcontext)
母音の始端	?pos
語頭	phoneme-pos-in-word head

- 検出

a. 母音の始端 ?pos が音韻始端 end-time である。

- 評価

a. 右側環境の確信度 ?CFcontext を、音韻終端 end-time の確信度とする。  
母音の始端

### sg-mid-nasal-right-vowel-1

後続母音の始端を見つける。

- 前提

鼻音	nasal
右側が母音	vowel
音韻候補始末端	?from ?to
語中	phoneme-pos-in-word middle

- 検出

a. 後方に母音始端 ?vowel-start が存在する。候補終端 ?to-10msec から後方に  
5000-6000Hzのパワーが増加する。

b. 0-6000Hzのスペクトル変化の1つ目の極大値の位置 ?pos を ?to-10msec より  
100msec 後方に探す。<sup>11</sup>

c. ?pos 付近に 1000-4000Hz の パワー の 減少 が ない。

- 評価

a. 0-6000Hzのスペクトル変化の1つ目の極大値 ?value がある程度ある。

(mid-nasal-spectral-change-right)

強い証拠、必要条件

b. 語中の鼻音性: ?pos-30msec から ?pos の 0-500Hz の パワー ?npw-0-500 が ほと  
ほどにある。

(mid-nasal-0-500-power)

弱い証拠

注11特に、/m/においては、BUZZ-BARのような区間が存在する場合があるためスペクトル変化の1つ目の極大値だけでは決定できない。音韻/h/に検出されないために0-4000Hzのパワー変化をみる。

- c. 語中の鼻音性: ?pos-30msec から?pos の500-1000Hzのパワー?npw-500-1000がほどほどにあるが、?npw-0-500ほどではない。  
(mid-nasal-500-1000-power)  
弱い証拠
- d. 語中の鼻音性: ?npw-0-500と?npw-500-1000のパワー比<sup>12</sup>  
(nasal-power-ratio-0-500-500-1000)  
証拠
- e. 右側の母音性: 0-1000Hzのパワーがある。(?posから?pos+20msecで)  
(vowel-by-nasal 0-1000-power)  
弱い証拠
- f. 右側の母音性: 1000-6000Hzのパワーがある。(?posから?pos+20msecで)  
(vowel-by-nasal 1000-6000-power)  
弱い証拠
- g. 右側の母音性: 0-1000Hzと5000-6000Hzのパワー比が大きい。(?posから?pos+20msecで)  
(nasal-vowel-power-ratio-0-1000-5000-6000)  
証拠

## sg-mid-nasal-right-vowel-2

後続母音の始端を見つける。

- 前提

鼻音	nasal
右側が母音	vowel
音韻候補始末端	?from ?to
語中	phoneme-pos-in-word middle

- 検出

- a. 後方に母音始端?vowel-startが存在する。候補終端?to-10msecから後方に5000-6000Hzのパワーが増加する。
- b. 0-6000Hzのスペクトル変化の1つ目の極大値の位置?posを?to-10msecより100msec後方に探す。
- c. 0-6000Hzのスペクトル変化の2つ目の極大値の位置?pos1を?posより70msec後方に探す。<sup>13</sup>
- d. ?pos1付近に1000-4000Hzのパワーの減少がない。

- 評価

- a. 0-6000Hzのスペクトル変化の2つ目の極大値?value1がある程度ある。  
(mid-nasal-spectral-change-right)  
強い証拠、必要条件
- b. 語中の鼻音性: ?pos1-30msecから?pos1の0-500Hzのパワー?npw-0-500がほどほどにある。  
(mid-nasal-0-500-power)  
弱い証拠
- c. 語中の鼻音性: ?pos1-30msecから?pos1の500-1000Hzのパワー?npw-500-1000がほどほどにあるが、?npw-0-500Hzほどではない。

注12語頭の母音/a/や/o/などを除くためのルール。

注13特に、/m/においては、BUZZ-BARのような区間が存在する場合があるためスペクトル変化の1つ目の極大値だけでは決定できない。音韻/r/に検出されないために0-4000Hzのパワー変化をみる。

(mid-nasal-500-1000-power)

弱い証拠

d. 語中の鼻音性: ?npw-0-500と?npw-500-1000のパワー比<sup>14</sup>

(nasal-power-ratio-0-500-500-1000)

証拠

e. 右側の母音性: 0-1000Hzのパワーがある。(?pos1から?pos1+20msecで)

(vowel-by-nasal 0-1000-power)

弱い証拠

f. 右側の母音性: 1000-6000Hzのパワーがある。(?pos1から?pos1+20msecで)

(vowel-by-nasal 1000-6000-power)

弱い証拠

g. 右側の母音性: 0-1000Hzと5000-6000Hzのパワー比が大きい。(?pos1から?pos1+20msecで)

(nasal-vowel-power-ratio-0-1000-5000-6000)

証拠

**defcontradiction 1st-or-2nd-peak-mid-nasal-right**

1つの仮説からは、1つの母音始端 following-vowel-start-timeしか仮定しない。

**sg-mid-nasal-right-vowel-done-1**

語中における鼻音の開始位置を見つける。

## ● 前提

鼻音	nasal
右側が母音	vowel(確信度=?CFcontext)
母音の始端	?pos
語中	phoneme-pos-in-word middle

## ● 検出

a. 母音の始端?posが音韻始端 end-time である。

## ● 評価

a. 右側環境の確信度 ?CFcontextを、音韻終端 end-time の確信度とする。  
母音の始端**4.5.5 音韻境界の再評価、競合解消****sg-mid-nasal-isnot-R-duration-time**

語中の/r/でないための検証する。

## ● 前提

鼻音	nasal
鼻音の始端	?start
鼻音の終端	?end
語中	phoneme-pos-in-word middle

注14語頭の母音/a/や/o/などを除くためのルール。

- 検出
  - a. ?start-10msecから?endの間に1000-4000Hzのパワーの減少が?vowel-endである。但し、?vowel-endは?startから40msec以上離れている。15
  - b. ?end+10msecから?startの間に1000-4000Hzのパワーの増加が?vowel-startである。
  
- 評価
  - a. ?vowel-endから?vowel-startまでの継続時間長が/r/の時間長より長い。  
カテゴリーの確信度を操作する。  
(not-R-duration-time)  
強い証拠、必要条件

### sg-mid-nasal-duration-time

語中の鼻音であるための継続時間長の検証する。

- 前提
 

鼻音	nasal
鼻音の始端	?start
鼻音の終端	?end
語中	phoneme-pos-in-word middle
  
- 評価
  - a. ?startから?endまでの継続時間長が鼻音の継続長である。  
カテゴリーの確信度を操作する。  
(mid-nasal-duration-time)  
強い証拠、必要条件

### sg-mid-nasal-isnot-nasal-segment

現時点での鼻音始端?start+10msecから終端?end区間内に大きなパワーの減少は絶対がない。

- 前提
 

鼻音	nasal
鼻音の始端	?start
鼻音の終端	?end
語中	phoneme-pos-in-word middle
  
- 検出
  - a. ?start+10msecから?endまでに1000-4000Hzのパワーの減少が存在する。
  
- 評価
  - a. ?start+10msecから?endまでに1000-4000Hzのパワーの減少が存在したら、カテゴリーの確信度を0.0にする。

注15音韻/m/の入りわたりでBuzz-barのようなパワーディップがあるため、このディップを検出しないために40msecだけ後ろから探す。

## 4.6 有声破裂音 (b,d,g)

### 4.6.1 概略

低域パワーと中高域パワー比の極大値を音韻候補位置**VOICED-STOP-CANDIDATE**として検出し、語頭の音韻環境は左側を無音右側を母音、語中の音韻環境は左右側とも母音を仮定する。

### 4.6.2 音韻候補の検出

#### get-voiced-stop-peak-candidates

0-500Hzと1000-6000Hzパワー比の極大値の時刻 **?peak-loc** 及びその値 **?peak-value** を検出する。

#### sg-voiced-stop-0

Bazz-barが存在する有声破裂音候補を検出する。

- 検出
  - a. 0-500Hzと1000-6000Hzのパワー比の極大値の時刻 **?peak-loc** を有声破裂音候補として仮説する。
- 評価
  - a. 0-500Hzと1000-6000Hzのパワー比の極大値  
(voiced-stop-peak-candidate)  
強い証拠、必要条件

#### voiced-stop-pos-no-buzz-head-in-word

BUZZ-BARが存在しない有声破裂音候補を検出する。

- 検出
  - a. 0-500Hzのパワーの増加が**?power-start**に存在する。(音声開始位置)
  - b. パワーの増加位置**?power-start-50msec**から**?power-start**が無音である。
  - c. パワーの増加位置**?power-start**直後に0-6000Hzパワーの増加位置**?vowel-start**が存在する。**?power-start**と**?vowel-start**とは、同時刻でもよい。
- 評価
  - a. パワーの増加位置**?power-start-50msec**から**?power-start**が無音  
(voiced-stop-power-is-silence)  
仮説の確信度には反映されない。
  - b. パワーの増加位置**?power-start**の直後の0-6000Hzパワーの増加量**?change-increase**  
(voiced-stop-pos-no-buzz-head-power-increase)  
強い証拠、必要条件

#### get-voiced-stop-burst-right-of-voiced-stop-0

時刻?hereの右?range msec以内で、周波数範囲[?freq-min, ?freq-max]にある有声バーストを見つける(後向き推論ルール)。このルールは実際にバーストを発見するルールget-voiced-stop-burst-right-of-voiced-stop-1を起動する。<sup>1</sup>

### get-voiced-stop-burst-right-of-voiced-stop-1

時刻?hereの右?range msec以内で、周波数範囲[?freq-min, ?freq-max]にある有声バーストを見つける(後向き推論ルール)。

- 検出
  - a. 時刻?hereの右?range msec以内で、?freq-min-?freq-maxHzパワーが短時間に急激に増加する時刻をバーストの大まかな位置?voiced-stop-burst-1000-6000-start<sup>2</sup>とする。パワー変化量を?voiced-stop-burst-1000-6000-start-changeとする。
  - b. バーストの大まかな位置?voiced-stop-burst-1000-6000-start付近で、周波数範囲[?freq-min, ?freq-max]内にあるスペクトルのローカル・ピークの周波数の1つを?peak-freqとする。<sup>3</sup>
  - c. 時刻?hereから右へ、?voiced-stop-burst-1000-6000-startの右10msecまでで、周波数?peak-freq ±100Hzでのパワーが短時間に急激に増加する時刻をバースト始端?voiced-stop-burst-startとする。このときのパワー変化量を?voiced-stop-burst-start-changeとする。
  - d. バースト始端?voiced-stop-burst-startの右15msec以内で、周波数?peak-freq ±100Hzでのパワーが短時間に急激に減少する時刻があれば、これをバースト終端?voiced-stop-burst-endとする。このときのパワー変化量を?voiced-stop-burst-end-changeとする。なければ、バースト終端はNONEとする。
- 評価
  - a. 大まかなバースト位置でのパワー変化量?voiced-stop-burst-1000-6000-start-change  
(voiced-stop bvoiced-stop-urst-1000-6000-start-change)  
仮説の確信度には反映されない。
  - b. バースト始端でのパワー変化量?burst-start-change  
(voiced-stop voiced-stop-burst-start-change)  
バーストの強い証拠、必要条件

## 4.6.3 音韻環境の仮説

### sg-voiced-stop-pos-in-word

有声破裂音候補の語頭・語中を仮説する。

- 1 ART本来の後向き推論ルールは1つのgoal patternに対して1つのfactしかassertされない。ここでは、1つのgoal pattern(バーストの存在)に対して複数のfact(それぞれが1つのバーストの候補)をassertするために、後向き推論ルールget-burst-right-of-unvoiced-stop-1は通常のfact (search-voiced-stop-burst-after ?here ?range ?freq-min ?freq-max)をassertする。
- 2 通常、1000-4000Hzパワーの変化でバーストを捜すことから、この変数名が使われている。
- 3 複数のローカル・ピークのそれぞれに対してこのルールが動作する。

- 仮説
  - a. 語頭    phoneme-pos-in-word head
  - b. 語中    phoneme-pos-in-word middle

### sg-voiced-stop-left

有声破裂音の左側音韻環境 left-context として以下を仮説する。

- 仮説
  - a. 無音(語頭)    silence
  - b. 母音            vowel

### sg-no-buzz-head-voiced-stop-left

BUZZ-BARなしの有声破裂音の左側音韻環境 left-context として以下を仮説する。

- 仮説
  - a. 無音(語頭)    silence
  - b. 母音            vowel

### sg-voiced-stop-right

有声破裂音の右側音韻環境 right-context として以下を仮説する。

- 仮説
  - a. 母音            vowel

### sg-no-buzz-head-voiced-stop-right

BUZZ-BARなしの有声破裂音の右側音韻環境 right-context として以下を仮説する。

- 仮説
  - a. 母音            vowel

## 4.6.4 音韻境界の検出、評価

### voiced-stop-pos-head-in-word

有声破裂音候補が語頭であることを検証する。

- 前提
  - 有声破裂音            voiced-stop
  - 音韻候補始終端    ?from ?to
- 検出
  - a. 低域パワー0-500Hzにおいてパワーの開始位置?power-startを捜す。  
?from と?power-startは、100msec以上離れていない。
  - b. ?power-startの左側が無音であるか検証する。
  - c. 後方に母音開始?vowel-startが存在する。候補終端?fromから後ろに0-6000Hzの  
パワーが増加する。
  - d. ?power-start と?vowel-startの間に母音終端?vowel-endが存在しない。  
3500-6000Hzのパワーの減少がない。
- 評価
  - 語頭(phoneme-pos-in-word head) の確信度を1.0とする。

### voiced-stop-pos-middle-in-word

有声破裂音候補が語中であることを検証する。

- 前提
  - 有声破裂音           voiced-stop
  - 音韻候補始末端      ?from ?to
- 検出
  - 後方に母音開始?vowel-startが存在する。候補終端?from から後ろに0-6000Hzのパワーが増加する。
  - 前方に母音終端?vowel-endが存在する。候補終端?to から前に3500-6000Hzのパワーが減少する。
- 評価
  - 語中(phoneme-pos-in-word middle)の確信度を1.0とする。

### sg-no-buzz-head-voiced-stop-left-silence-1

語頭における無音・有声破裂音の境界を見つける。

- 前提
  - 有声破裂音           voiced-stop
  - 左側が無音           silence
  - 音韻候補始末端      ?from ?to
  - BUZZ-BARなし語頭   phoneme-pos-in-word no-buzz-head
- 検出
  - 低域パワー0-500Hzにおいてパワーの開始位置?power-startを捜す。
  - ?power-startの左側が無音であるか検証する。
- 評価
  - ?power-startの左側が無音である。  
(voiced-stop-power-is-silence)  
弱い証拠、必要条件。
  - 語頭の有声破裂音性: ?power-start から?power-start+20msec の0-500Hzのパワー?vspw-0-500 がほどほどにある。  
(no-buzz-head-voiced-stop-0-500-power)  
強い証拠、必要条件

### sg-no-buzz-head-voiced-stop-left-silence-done-1

語頭における有声破裂音の開始位置を見つける。

- 前提
  - 有声破裂音           voiced-stop
  - 左側が無音           silence(確信度=?CFcontext)
  - 無音・有声破裂音の境界   ?pos
  - BUZZ-BARなし語頭      phoneme-pos-in-word no-buzz-head
- 検出
  - 無音・有声破裂音の境界?posが音韻始端 start-time である。

- 評価
  - a. 左側環境の確信度 ?CFcontextを、音韻始端 start-time の確信度とする。  
音声開始位置

### sg-head-voiced-stop-left-silence-1

語頭における無音・有声破裂音の境界を見つける。

- 前提
 

有声破裂音	voiced-stop
左側が無音	silence
音韻候補始終端	?from ?to
語頭	phoneme-pos-in-word head
- 検出
  - a. 低域パワー0-500Hzにおいてパワーの開始位置?power-startを捜す。
  - b. ?power-startの左側が無音であるか検証する。
- 評価
  - a. ?power-startの左側が無音である。  
弱い証拠、必要条件
  - b. 語頭の有声破裂音性: ?power-start から?power-start+30msec の0-500Hz の  
パワー?npw-0-500 がほどほどにある。  
(voiced-stop-0-500-power)  
弱い証拠
  - c. 語頭の有声破裂音性: ?power-start から?power-start+30msec の500-3500Hz  
のパワー?vspw-500-3500 がほどほどにあるが、?vspw-0-500 ほどではない。  
(voiced-stop-500-3500-power)  
弱い証拠
  - d. 語頭の有声破裂音性: ?vspw-0-500と?vspw-500-3500 のパワー比  
(voiced-stop-power-ratio-0-500-500-3500)<sup>4</sup>  
証拠

### sg-head-voiced-stop-left-silence-done-1

語頭における有声破裂音の開始位置を見つける。

- 前提
 

有声破裂音	voiced-stop
左側が無音	silence(確信度=?CFcontext)
無音・有声破裂音の境界	?pos
語頭	phoneme-pos-in-word head
- 検出
  - a. 無音・有声破裂音の境界?posが音韻始端 start-time である。
- 評価
  - a. 左側環境の確信度 ?CFcontextを、音韻始端 start-time の確信度とする。

### sg-mid-voiced-stop-left-vowel-1

注4 母音を除く。

先行母音の終端を見つける。

● 前提

有声破裂音	voiced-stop
左側が母音	vowel
音韻候補始終端	?from ?to
語中	phoneme-pos-in-word middle

● 検出

a. 前方に母音終端?posが存在する。候補終端?from から前方に3500-6000Hzのパワーが減少する。

● 評価

a. 前方に母音終端?posが存在する。その減少量?vsp-descrease

(mid-voiced-stop-power-derease-left)

強い証拠、必要条件

b. 語中の有声破裂音性: ?posから?pos+30msec の0-500Hzのパワー?vspw-0-500がほどほどにある。

(voiced-stop-0-500-power)

弱い証拠

c. 語中の有声破裂音性: ?pos から?pos+30msec の500-1000Hzのパワー?vspw-500-3500 がほどほどにあるが、?vspw-0-500ほどではない。

(voiced-stop-500-1000-power)

弱い証拠

d. 語中の有声破裂音性: ?vspw-0-500と?vspw-500-1000 のパワー比

(voiced-stop-power-ratio-0-500-500-3500)<sup>5</sup>

証拠

e. 左側の母音性: 0-1000Hzのパワーがある。(?pos-30msec から?posで)

(vowel-by-voiced-stop 0-1000-power)

弱い証拠

f. 左側の母音性: 1000-6000Hzのパワーがある。(?pos-30msec から?posで)

(vowel-by-voiced-stop 1000-6000-power)

弱い証拠

g. 左側の母音性: 0-1000Hzと5000-6000Hzのパワー比が大きい。(?pos-30msec から?posで)

(voiced-stop-vowel-power-ratio-0-1000-5000-6000)

証拠

### sg-mid-voiced-stop-left-vowel-done-1

語中における有声破裂音の開始位置を見つける。

● 前提

有声破裂音	voiced-stop
左側が無音	vowel(確信度=?CFcontext)
母音の終端	?pos
語中	phoneme-pos-in-word middle

● 検出

a. 母音の終端?posが音韻始端 start-time である。

注5 母音を除く。

- 評価
  - a. 左側環境の確信度 ?CFcontextを、音韻始端 start-time の確信度とする。  
母音終端

### sg-no-buzz-head-voiced-stop-right-vowel-1

BUZZ-BARなし有声破裂音の後続母音の始端を見つける。

- 前提
 

有声破裂音	voiced-stop
右側が母音	vowel
音韻候補始末端	?from ?to
語中	phoneme-pos-in-word no-buzz-head
- 検出
  - a. 音韻候補始端?to-10msecから後方に40msecまで有声の破裂があるか否かを捜す。  
最大の破裂位置?voiced-stop-burst-startは、?toより後方に存在する。
- 評価
  - a. 最大の破裂位置?voiced-stop-burst-startの破裂確信度?CFvoiced-stop-burst  
強い証拠、必要条件
  - b. 右側の母音性: 0-1000Hzのパワーがある。( ?pos1 から?pos1+30msec で)  
(vowel-by-voiced-stop 0-1000-power)  
弱い証拠
  - c. 右側の母音性: 1000-6000Hzのパワーがある。( ?pos1 から?pos1+30msec で)  
(vowel-by-voiced-stop 1000-6000-power)  
弱い証拠
  - d. 右側の母音性: 0-1000Hzと5000-6000Hzのパワー比が大きい。( ?pos1 から?pos1+30msec で)  
(voiced-stop-vowel-power-ratio-0-1000-5000-6000)  
証拠

### sg-no-buzz-head-voiced-stop-right-vowel-done-1

語中におけるBUZZ-BARなしの有声破裂音の開始位置を見つける。

- 前提
 

有声破裂音	voiced-stop
右側が母音	vowel(確信度=?CFcontext)
母音の始端	?pos
語頭	phoneme-pos-in-word no-buzz-head
- 検出
  - a. 母音の始端?posが音韻終端 end-time である。
- 評価
  - a. 右側環境の確信度?CFcontextを、音韻終端 end-time の確信度とする。  
母音の始端

### sg-voiced-stop-right-vowel-1

後続母音の始端を見つける。

● 前提

有声破裂音	voiced-stop
右側が母音	vowel
音韻候補始終端	?from ?to
語中	phoneme-pos-in-word not no-buzz-head

● 検出

- a. 音韻候補始端?to-10msecから後方に100msecまで有声の破裂があるか否かを探す。最大の破裂位置?vposが存在する。
- b. 0-500Hzのパワーの増加位置?posが破裂位置?vpos-10msecより40msec後方以内に存在する。

● 評価

- a. 最大の破裂位置?vposの破裂確信度?CFvoiced-stop-burst  
強い証拠、必要条件
- b. 有声破裂音性: ?pos-30msec から?pos の0-500Hzのパワー?vspw-0-500 がほ  
どほどにある。  
(voiced-stop-0-500-power)  
弱い証拠
- c. 有声破裂音性: ?pos-30msec から?pos の500-3500Hzのパワー?vspw-500-3500  
がほどほどにあるが、?vspw-0-500ほどではない。  
(voiced-stop-500-3500-power)  
弱い証拠
- d. 有声破裂音性: ?vspw-0-500と?vspw-500-3500 のパワー比  
(voiced-stop-power-ratio-0-500-500-1000)。  
証拠
- e. 右側の母音性: 0-1000Hzのパワーがある。(?pos から?pos+30msec で)  
(vowel-by-voiced-stop 0-1000-power)  
弱い証拠
- f. 右側の母音性: 1000-6000Hzのパワーがある。(?pos から?pos+30msec で)  
(vowel-by-voiced-stop 1000-6000-power)  
弱い証拠
- g. 右側の母音性: 0-1000Hzと5000-6000Hz のパワー比が大きい。(?pos か  
ら?pos+30msec で)  
(voiced-stop-vowel-power-ratio-0-1000-5000-6000)  
証拠

## sg-voiced-stop-right-vowel-2

後続母音の始端を見つける。

● 前提

有声破裂音	voiced-stop
右側が母音	vowel
音韻候補始終端	?from ?to
語中	phoneme-pos-in-word not no-buzz-head

● 検出

- a. 音韻候補始端?to-10msecから後方に100msecまで有声の破裂があるか否かを捜す。最大の破裂位置?posが存在する。
- b. 0-500Hzのパワーの増加位置が破裂位置?pos-10msecより40msec後方以内に存在しないか、?posより前方にある場合、?posが有声破裂音の終端。

● 評価

- a. 最大の破裂位置?posの破裂確信度?CFvoiced-stop-burst  
強い証拠、必要条件
- b. 有声破裂音性: ?pos-30msec から?pos の0-500Hzのパワー?vspw-0-500 がほどほどにある。  
(voiced-stop-0-500-power)  
弱い証拠
- c. 有声破裂音性: ?pos-30msec から?pos の500-3500Hzのパワー?vspw-500-3500 がほどほどにあるが、?vspw-0-500ほどではない。  
(voiced-stop-500-3500-power)  
弱い証拠
- d. 有声破裂音性: ?vspw-0-500と?vspw-500-3500 のパワー比  
(voiced-stop-power-ratio-0-500-500-1000)  
証拠
- e. 右側の母音性: 0-1000Hzのパワーがある。(?posから?pos+30msec で)  
(vowel-by-voiced-stop 0-1000-power)  
弱い証拠
- f. 右側の母音性: 1000-6000Hzのパワーがある。(?posから?pos+30msec で)  
(vowel-by-voiced-stop 1000-6000-power)  
弱い証拠
- g. 右側の母音性: 0-1000Hzと5000-6000Hzのパワー比が大きい。(?posから?pos+30msec で)  
(voiced-stop-vowel-power-ratio-0-1000-5000-6000)  
証拠

**defcontradiction 1st-or-2nd-peak-voiced-stop-right**

1つの仮説からは、1つの母音始端 following-vowel-start-timeしか仮定しない。

**sg-voiced-stop-right-vowel-done-1**

語中における有声破裂音の開始位置を見つける。

● 前提

有声破裂音	voiced-stop
右側が母音	vowel(確信度=?CFcontext)
母音の始端	?pos
語中	phoneme-pos-in-word not no-buzz-head

● 検出

- a. 母音の始端?posが音韻始端 end-time である。

● 評価

- a. 右側環境の確信度 ?CFcontextを、音韻終端 end-time の確信度とする。  
母音の始端

#### 4.6.5 音韻境界の再評価、競合解消

##### sg-mid-voiced-stop-isnot-R-duration-time

語中の/r/でないための検証する。

- 前提

有声破裂音	voiced-stop
有声破裂音の始端	?start
有声破裂音の終端	?end
語中	phoneme-pos-in-word middle

- 評価

a. ?startから?endまでの継続時間長が/r/の時間長より長い。

(sg-mid-voiced-isnot-R-duration-time)

強い証拠、必要条件

## 4.7 流音 (r)

### 4.7.1 概略

語中の /r/ を検出する。1000-4000Hz のパワーディップ (パワーの減少が有り、その後 40msec 以内にパワーの増加) LIQUID-CANDIDATE を検出する。音韻環境の仮説は左右とも母音を仮説する。語頭の /r/ は有声破裂音として検出される。<sup>1</sup>

### 4.7.2 音韻候補の検出

#### get-mid-liquid-region-candidates

- a. 1000-4000Hz のパワーディップの区間 ?from ?to を検出する。

#### sg-mid-liquid-0

流音候補を検出する。

- 検出
  - a. 1000-4000Hz のパワーディップ (パワーの減少が有り、その後 40msec 以内にパワーの増加) を ?from ?to として検出する。
  - b. 0-500Hz と 4000-6000Hz のパワー比がある程度大きい。
  - c. 0-500Hz と 1000-6000Hz のパワー比がある程度大きい。
- 評価
  - a. ?from から ?to の 0-500Hz と 4000-6000Hz のパワー比  
(mid-liquid-0-500-4000-6000-power-ratio)  
証拠、必要条件
  - b. ?from から ?to の 0-500Hz と 1000-6000Hz のパワー比  
(mid-liquid-0-500-1000-6000-power-ratio)  
証拠、必要条件

### 4.7.3 音韻環境の仮説

#### sg-mid-liquid-left

流音の左側音韻環境 left-context として以下を仮説する。

- 仮説
  - a. 母音 vowel

#### sg-mid-liquid-right

流音の右側音韻環境 right-context として以下を仮説する。

- 仮説
  - a. 母音 vowel

注1 現在のところ、発声が比較的不安定になっている語尾の母音 (特に長母音) や、母音から鼻音・撥音への入りわりにおいて多くの挿入誤りが生じている。

#### 4.7.4 音韻境界の検出、評価

##### sg-mid-liquid-left-vowel-1

先行母音の終端を検出する。

- 前提
 

流音	liquid
左側が母音	vowel
音韻候補始終端	?from ?to
- 検出
  - a. 音韻候補終端?toより前方に1000-4000Hzのパワーの減少位置?pos を探す。
- 評価
  - a. 音韻候補終端?toより前方に1000-4000Hzのパワーの減少を捜し、その減少値?value で評価。
    - (mid-liquid-left-power-change)
    - 強い証拠、必要条件
  - b. 左側の母音性: ?pos-20msec から?pos の0-1000Hzパワー
    - (vowel-by-liquid 0-1000-power)
    - 弱い証拠
  - c. 左側の母音性: ?pos-20msec から?pos の1000-6000Hzパワー
    - (vowel-by-liquid 1000-6000-power)
    - 弱い証拠
  - d. 左側の母音性: ?pos-20msec から?pos の0-1000Hzと5000-6000Hzパワー比
    - (liquid-vowel-power-ratio-0-1000-5000-6000)
    - 証拠

##### sg-mid-liquid-left-vowel-done-1

流音の始端を見つける。

- 前提
 

流音	liquid
左側が母音	vowel (確信度?CFcontext)
- 検出
  - a. 先行母音の終端が音韻始端 start-time である。
- 評価
  - a. 左側環境の確信度 ?CFcontextを、音韻始端 start-time の確信度とする。先行母音の終端。

##### sg-mid-liquid-right-vowel-1

後続母音の終端を検出する。

- 前提
 

流音	liquid
右側が母音	vowel
音韻候補始終端	?from ?to

- 検出
  - a. 音韻候補始端 ?from より後方に 1000-4000Hz のパワーの増加位置 ?pos を探す。
- 評価
  - a. 音韻候補始端 ?from より後方に 1000-4000Hz のパワーの増加を捜し、その増加値 ?value で評価。
    - (mid-liquid-right-power-change)
    - 強い証拠、必要条件
  - b. 右側の母音性: ?pos から ?pos+20msec の 0-1000Hz パワー
    - (vowel-by-liquid 0-1000-power)
    - 弱い証拠
  - c. 右側の母音性: ?pos から ?pos+20msec の 1000-6000Hz パワー
    - (vowel-by-liquid 1000-6000-power)
    - 弱い証拠
  - d. 右側の母音性: ?pos から ?pos+20msec の 0-1000Hz と 5000-6000Hz パワー比
    - (liquid-vowel-power-ratio-0-1000-5000-6000)
    - 証拠

### sg-mid-liquid-right-vowel-done-1

流音の終端を見つける。

- 前提
  - 流音                    liquid
  - 右側が母音        vowel (確信度 ?CFcontext)
- 検出
  - a. 後続母音の始端が音韻終端 end-time である。
- 評価
  - a. 右側環境の確信度 ?CFcontext を、音韻終端 end-time の確信度とする。  
後続母音の始端。

### 4.7.5 音韻境界の再評価、競合解消

#### sg-mid-liquid-duration-time

流音の継続時間長及びパワーディップの大きさを検証する。  
音韻カテゴリーの確信度を変更する。

- 前提
  - 流音                    liquid
  - 音韻始端                ?start
  - 音韻終端                ?end
  - 音韻の確信度            ?CFcategory
- 検出
- 評価
  - a. ?start から ?end の継続時間長。
    - (mid-liquid-segmenting-duration-time)
    - 強い証拠、必要条件
  - b. 音韻始端 ?start より後方に 1000-4000Hz のパワーの増加を捜し増加値 ?s-value, 音韻終端 ?end より前方に 1000-4000Hz のパワーの減少を捜し増加値 ?e-value,

の和(?s-value+?e-value)で評価。  
(mid-liquid-inc-dec-value)  
強い証拠

## 4.8 音韻カテゴリの統合

### 4.8.1 概略

各音韻カテゴリのルール(無声破裂音、無声摩擦音、気音、有声摩擦音、有声破裂音、鼻音、流音)から得られるセグメンテーション結果より、最大確信度を与える区間とその音韻カテゴリを決定する。

### 4.8.2 音韻カテゴリとその区間の決定

#### sg-end-1

同一音韻カテゴリ内で複数の音韻開始位置及び音韻終了位置よりそのカテゴリの区間を決定する。

- 前提
  - a. ある仮説 `?segment`
  - b. 音韻カテゴリ `?category`
  - c. 音韻開始位置 `?start`
  - d. 音韻終了位置 `?end (>?start)`

- 結論

`(segment-result ?segment (?start ?end))`

#### sg-end-2

**sg-end-1**で決論された同一音韻カテゴリ内の複数の音韻区間より最大確信度を与える音韻区間を決定する。

- 前提
  - a. ある仮説 `?segment`
  - b. 音韻カテゴリの音韻区間 `(segment-result ?segment (?start ?end))`
  - c. 最大確信度を与える音韻カテゴリとその区

- 結論

`(segment-status ?segment segmentation-ended)`

#### sg-end-3

**sg-end-2**で決論された音韻区間において、異なる複数の音韻カテゴリ間で音韻区間が競合している。

- 前提
  - a. ある仮説
    - `?segment1`
  - b. ある音韻カテゴリの最大確信度を与える区間
    - `(segment-status ?segment1 segmentation-ended)`
  - c. 音韻カテゴリの音韻区間
    - `(segment-result ?segment1 (?start1 ?end1))`

d. 他の仮説

?segment2

e. 他の音韻カテゴリの最大確信度を与える区間

(segment-status ?segment2 segmentation-ended)

f. 音韻カテゴリの音韻区間

(segment-result ?segment2 (?start2 ?end2))

g. 音韻区間が競合している

(and (?start1 < (?start2 + ?end2) / 2)

((?start2 + ?end2) / 2 < ?end1))

または、

(and (?start2 < (?start1 + ?end1) / 2)

((?start1 + ?end1) / 2 < ?end2))

- 結論

音韻区間?segment1と?segment2が競合している

(conflicting-segments ?segment1 ?segment2)

(conflicting-segments ?segment2 ?segment1)

### sg-end-4

sg-end-3で決論された競合音韻区間から最大確信度を与える音韻カテゴリとその区間を決定する。

- 前提

a. ある仮説

?segment1

b. ある音韻カテゴリの最大確信度を与える区間

(segment-status ?segment1 segmentation-ended)

c. 音韻カテゴリの音韻区間

(segment-result ?segment1 (?start1 ?end1))

d. 音韻区間?segment1に競合する他の仮説

(conflicting-segments ?segment1 ?segment2)

e. ?segment2の音韻カテゴリの音韻区間

(segment-result ?segment2 (?start2 ?end2))

f. 最大確信度を与える音韻カテゴリとその区間

- 結論

全競合音韻カテゴリの最大確信度を与える区間

(segment-status ?segment1 segmentation-result)

# 付録1

## CFtable一覧

```

→ ((-65 -0.9) (-60 -0.2) (-55 0.1) (-50 0.2) (-45 0.5))
(not-r-duration-time)
→ ((25 -0.9) (35 -0.2) (45 0.5) (60 0.9) (80 0.9) (110 -0.9))
(start-time-vowel-end-difference)
→ ((5 0.0) (10 -0.9))
(syllabic-nasal 1000-6000-power)
→ ((-45 0.9) (-35 -0.9))
(syllabic-nasal 0-500-power)
→ ((-60 -0.9) (-45 0.9))
(unvoiced-friactive vowel-offset-1000-6000-power)
→ ((-80 -0.9) (-60 -0.5) (-50 0.0) (-40 0.8) (-20 0.9))
(unvoiced-friactive vowel-offset-time)
→ ((0 0.9) (20 0.8) (50 -0.8) (200 -0.9))
(unvoiced-fricative 4000-6000-1000-2000-power-ratio)
→ ((10 -1.0) (15 0.0) (20 0.8) (30 1.0))
(unvoiced-fricative cutoff)
→ ((500 -1.0) (900 1.0))
(unvoiced-fricative left-silence-0-6000-power)
→ ((-70 1.0) (-60 0.0) (-50 -1.0))
(unvoiced-fricative 0-500-power)
→ ((-80 0.9) (-60 0.6) (-45 0.0) (-40 -0.9))
(unvoiced-fricative 4000-6000-power)
→ ((-65 -1.0) (-55 0.0) (-45 1.0))
(unvoiced-fricative 0-500-1000-2000-power-ratio)
→ ((0 1.0) (5 0) (10 -1.0))
(unvoiced-fricative 0-200-power-at-word-initial)
→ ((-90 0.9) (-80 0.8) (-70 0.0) (-60 -0.6) (-50 -0.8) (-30 -0.9))
(unvoiced-fricative power-change-at-word-initial)
→ ((2 0.9) (3 0.8) (5 0.0) (8 -0.8) (10 -0.9))
(unvoiced-stop closure-0-500-power)
→ ((-60 0.9) (-50 0.0) (-45 -0.9))
(unvoiced-stop burst-end-change)
→ ((0 -0.9) (1 -0.8) (3 0.0) (5 0.8) (20 0.9))
(unvoiced-stop closure-0-6000-power)
→ ((-70 0.9) (-50 0.6) (-45 0.0) (-20 -0.9))
(unvoiced-stop burst-duration)
→ ((0 0.2) (10 0.9) (20 0.9) (30 0.2) (50 -0.9))
(unvoiced-stop closure-0-500-500-1000-power-ratio)
→ ((0 0.9) (10 0.5) (20 -0.9))
(unvoiced-stop closure-duration)
→ ((10 -0.9) (20 0.2) (30 0.5) (40 0.9) (80 0.9) (100 0.8) (150 0.2) (200 -0.9))
(unvoiced-stop frication-duration-when-followed-by-fricative)
→ ((20 -0.9) (50 -0.5) (100 0.9) (200 0.9) (300 -0.9))
(unvoiced-stop double-burst-distance)
→ ((0 -0.8) (10 0.2) (20 0.8) (30 -0.2) (50 -0.8))
(unvoiced-stop sokuon-closure-duration)
→ ((90 -0.9) (150 0.2) (200 0.9))
(unvoiced-stop burst-start-change)
→ ((1.0 -0.9) (3 0.0) (7 0.8) (20 0.9))
(unvoiced-stop 0-500-power-before-vowel)
→ ((-80 0.9) (-50 0.5) (-45 0.0) (-40 -0.5) (-10 -0.9))
(unvoiced-stop voice-onset-time)
→ ((0 0.6) (10 0.9) (30 0.9) (80 0.6) (100 0.2) (200 -0.9))
(unvoiced-stop duration-at-word-initial)
→ ((0 -0.9) (10 0.0) (15 0.9))
(unvoiced-stop 0-500-500-1000-power-ratio-before-vowel)
→ ((-50 0.9) (0 0.4) (5 0.0) (10 -0.6) (50 -0.9))
(unvoiced-stop aspiration-duration-before-another-stop)
→ ((10 -0.9) (20 0.2) (30 0.9))
(unvoiced-stop aspiration-duration-before-fricative)
→ ((10 -0.9) (15 0.0) (20 0.5) (50 0.9) (80 0.0) (150 -0.9))
(unvoiced-stop burst-1000-4000-start-change)
→ ((1.0 -0.9) (2 0.2) (5 0.9))
(voiced-fricative 1000-2000-power)
→ ((-70 -0.9) (-60 0.9) (-30 0.0) (-20 -0.9))
(voiced-fricative high-middle-freq-power-ratio-peak)
→ ((0 -0.9) (5 0.0) (30 0.9) (40 0.0) (60 -0.9))
(voiced-fricative 0-500-1000-2000-power-ratio)
→ ((-20 -0.9) (-8 0.5) (-2 0.9) (8 0.9))
(voiced-fricative voicing-power)
→ ((-80 -0.9) (-65 0.0) (-50 0.9) (-40 0.9) (-25 0.0) (-20 -0.9))
(voiced-stop burst-duration)
→ ((0 0.9) (5 0.9) (20 0.9) (40 0.0) (50 -0.9))
(voiced-stop burst-end-change)
→ ((0 -0.9) (1 -0.8) (3 0.0) (5 0.8) (20 0.9))
(voiced-stop burst-1000-6000-start-change)

```

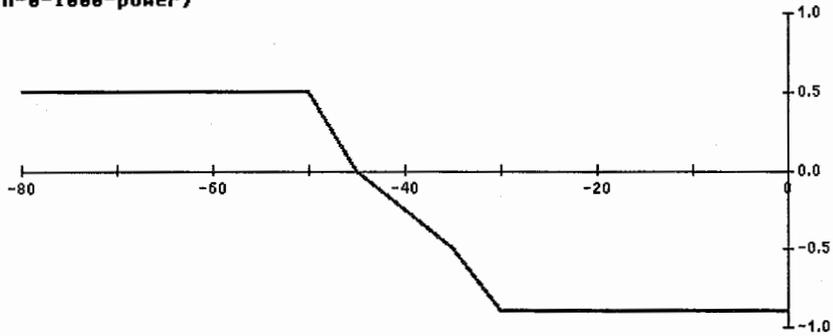
```

    → ((0.8 -0.9) (1.2 -0.2) (2 0.2) (5 0.9))
(voiced-stop burst-start-change)
    → ((1.0 -0.9) (2.0 0.0) (4.0 0.5) (6 0.9))
(voiced-stop-0-500-power)
    → ((-75 -0.9) (-70 -0.2) (-60 0.5) (-50 0.9) (-40 0.9) (-30 0.5) (-20 0.0) (-10 -0.9))
(voiced-stop-0-6000-power)
    → ((-80 -0.9) (-70 0.9) (-30 0.9) (-25 -0.9))
(voiced-stop-4000-6000-power)
    → ((-40 0.9) (-30 0.0) (-20 -0.9))
(voiced-stop-500-3500-power)
    → ((-45 0.9) (-40 0.0) (-30 -0.9))
(voiced-stop-duration-time)
    → ((30 -0.9) (30 0.0) (50 0.9) (80 0.9) (110 0.0) (140 -0.9))
(voiced-stop-no-buzz-head-power-increase)
    → ((0.0 -0.9) (0.3 -0.2) (0.5 0.0) (2.0 0.5))
(voiced-stop-not-r-duration-time)
    → ((25 -0.9) (30 -0.2) (35 0.0) (50 0.5) (60 0.7))
(voiced-stop-peak-candidate)
    → ((0 -0.9) (5 -0.2) (10 0.0) (15 0.5))
(voiced-stop-power-is-silence)
    → ((-75 0.9) (-70 0.0) (-65 -0.9))
(voiced-stop-power-ratio-0-500-500-3500)
    → ((-5 -0.9) (0 0.0) (10 0.5) (15 0.9))
(voiced-stop-vowel-power-ratio-0-1000-5000-6000)
    → ((-20 -0.9) (-5 -0.2) (0 0.0) (5 0.5) (10 0.9))
(vowel 0-6000-power)
    → ((-70 -0.9) (-45 0.0) (-40 0.8) (-10 0.9))
(vowel 0-500-power)
    → ((-70 -0.9) (-55 0.0) (-40 0.8) (-10 0.9))
(vowel 1000-6000-power)
    → ((-70 -0.9) (-55 0.5) (-40 0.8) (-10 0.9))
(vowel-by-h 0-1000-power)
    → ((-70 -0.9) (-50 0.0) (-45 0.5))
(vowel-by-h 1000-6000-power)
    → ((-70 -0.9) (-60 0.0) (-45 0.5))
(vowel-by-liquid 1000-6000-power)
    → ((-70 -0.9) (-60 0.0) (-45 0.5))
(vowel-by-liquid 0-1000-power)
    → ((-70 -0.9) (-50 0.0) (-45 0.5))
(vowel-by-nasal 0-1000-power)
    → ((-70 -0.9) (-60 -0.5) (-55 0.0) (-45 0.9))
(vowel-by-nasal 1000-6000-power)
    → ((-70 -0.9) (-60 0.0) (-45 0.9))
(vowel-by-voiced-stop 1000-6000-power)
    → ((-70 -0.9) (-60 0.0) (-45 0.9))
(vowel-by-voiced-stop 0-1000-power)
    → ((-70 -0.9) (-60 -0.5) (-55 0.0) (-45 0.9))
(xxx yyy)
    → ((5 0.1) (10 0.3) (20 0.5))

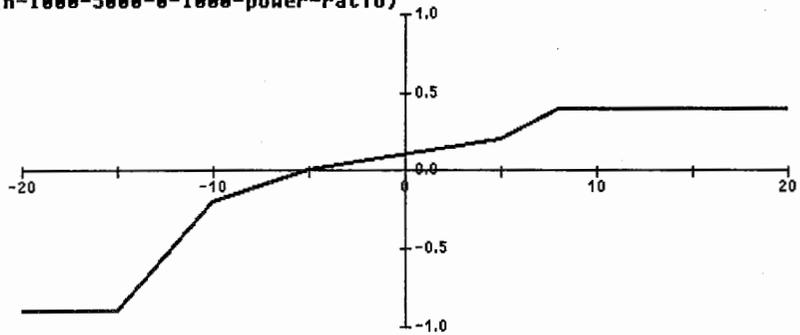
```

\*\*\* GF function table \*\*\*

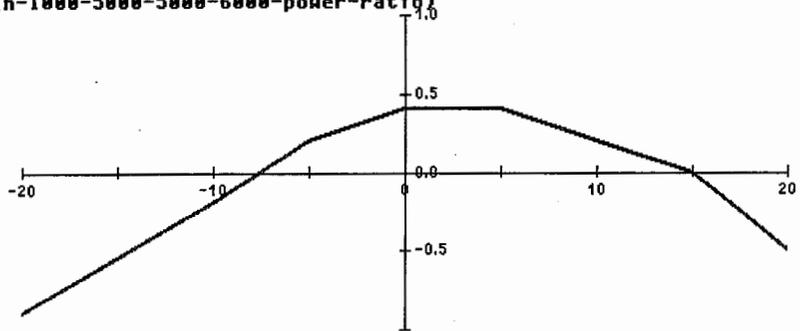
(h-0-1000-power)



(h-1000-5000-0-1000-power-ratio)



(h-1000-5000-5000-6000-power-ratio)



Dynamic Lisp Listener 2

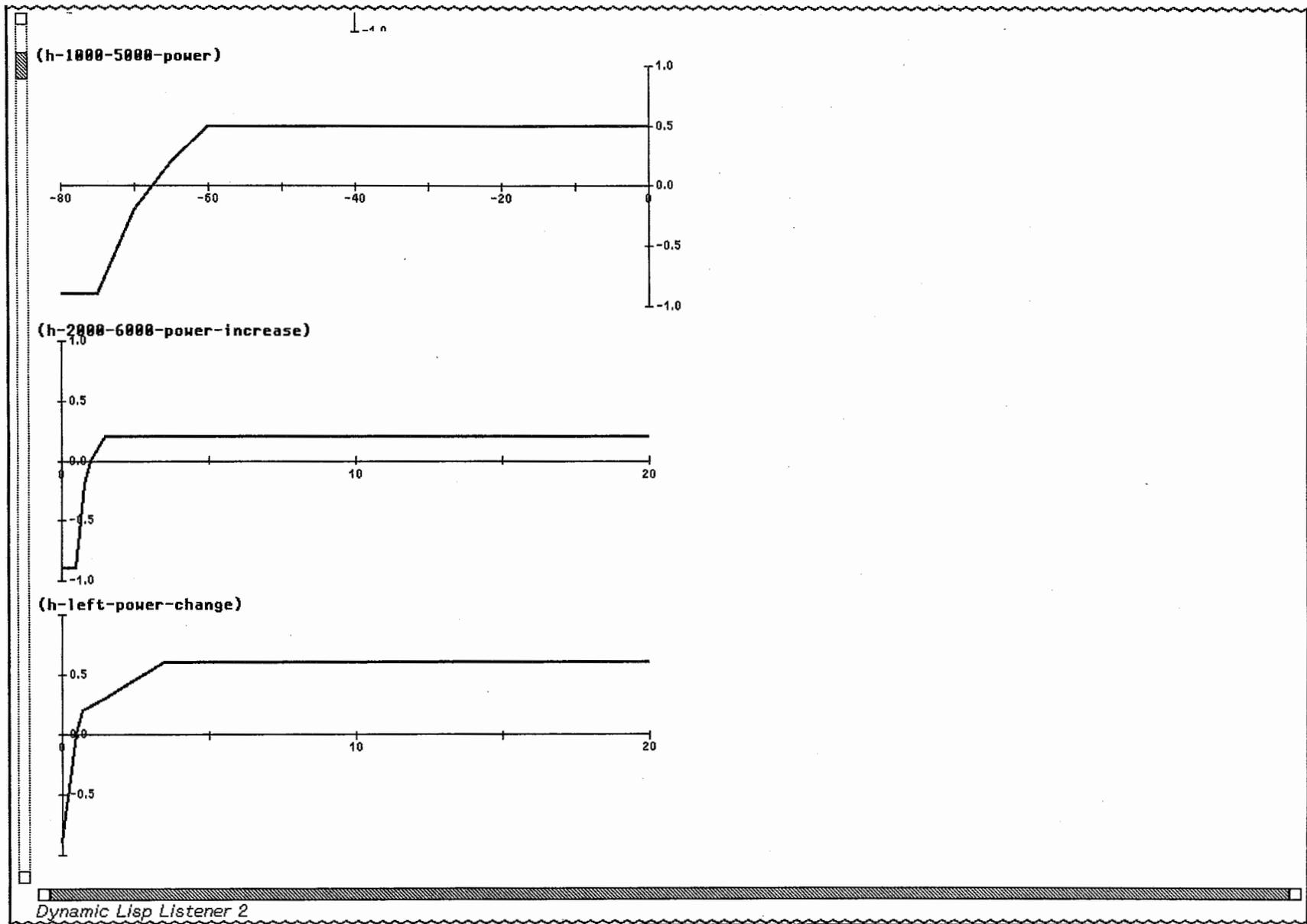
Mouse-R: Menu.

To see other commands, press Shift, Control, Meta-Shift, or Super.

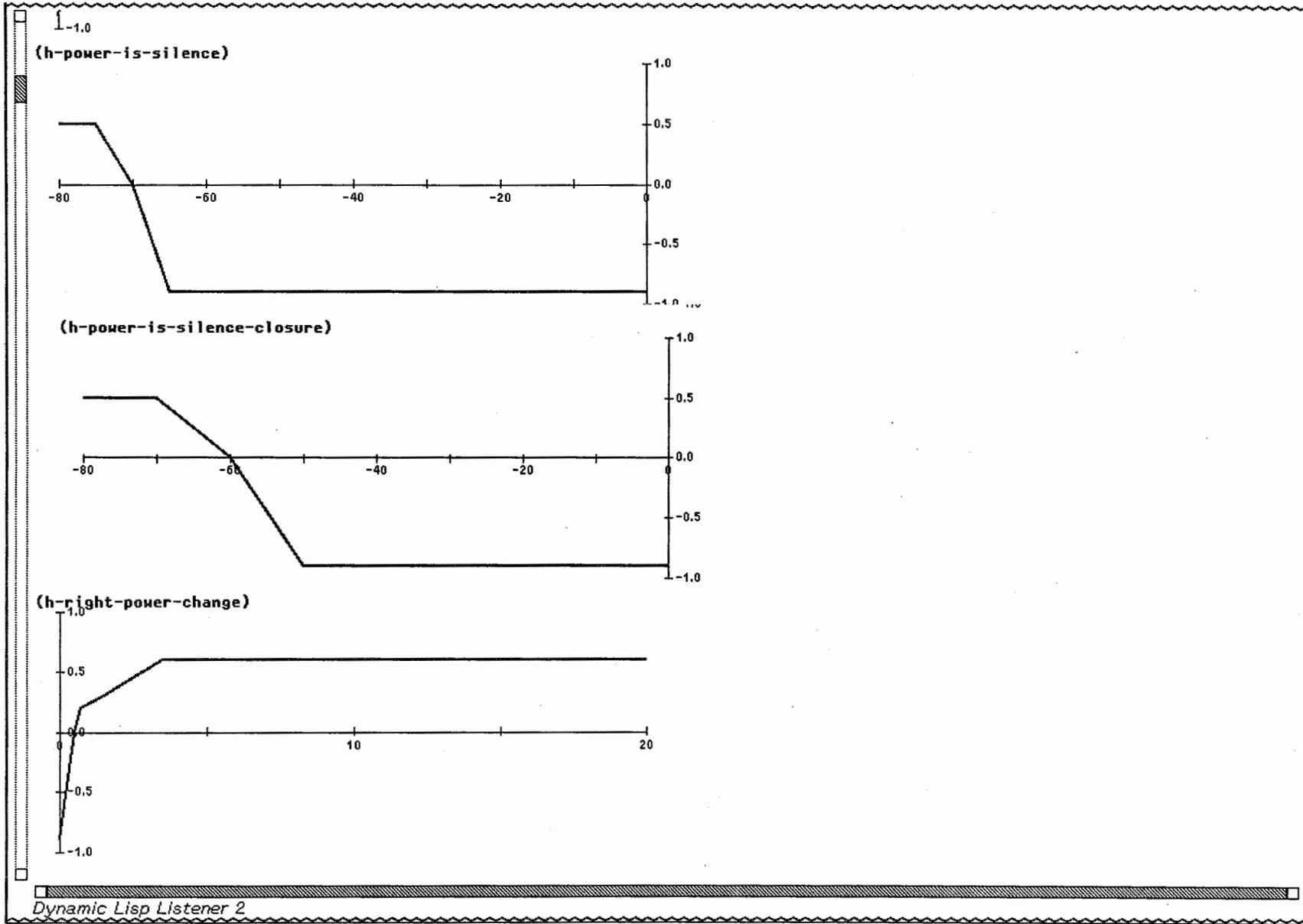
[Wed 22 Mar 1:09:39] Keyboard

CL ACU:

User Input



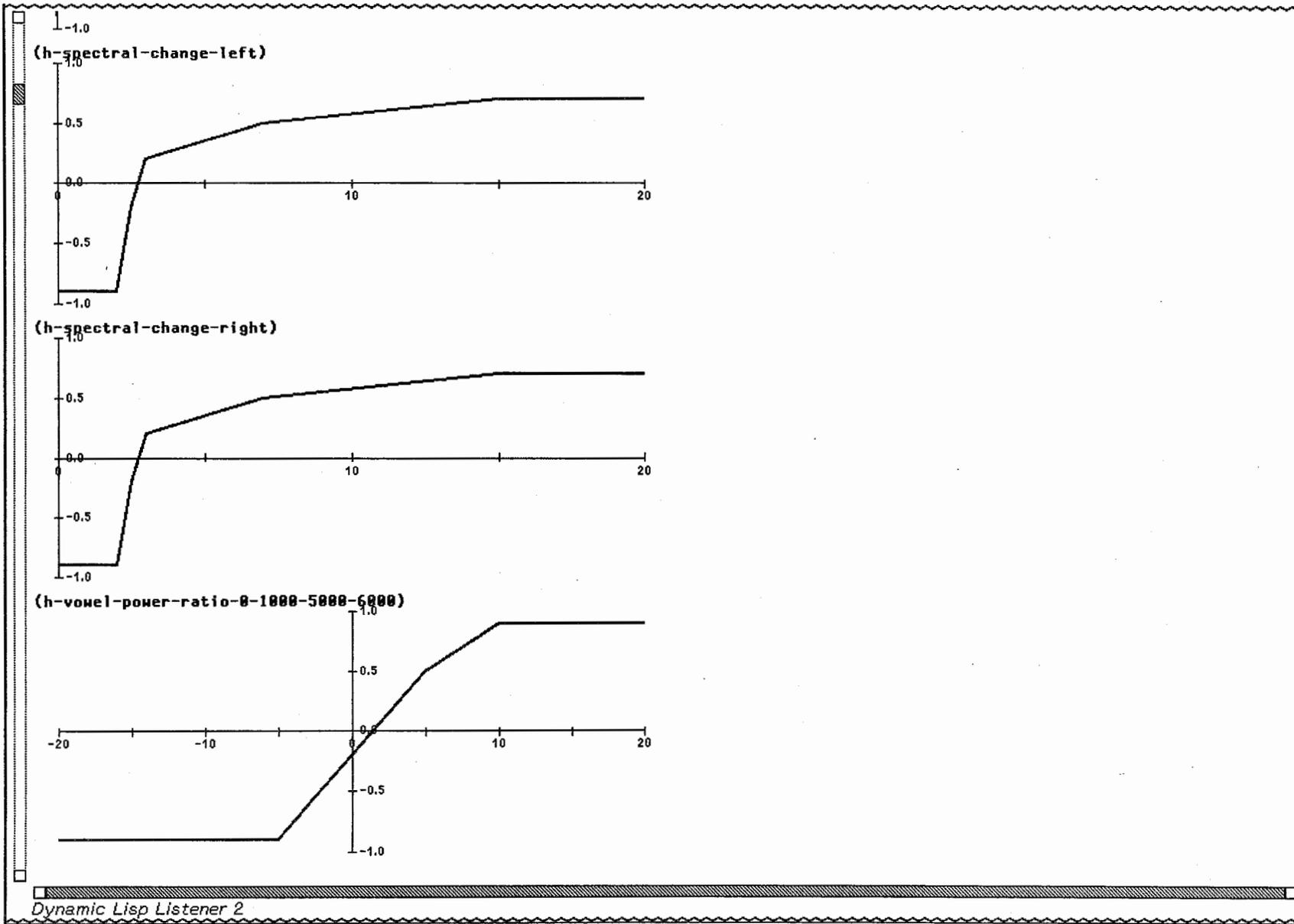
Left: Marked line to top (shift-Left: to bottom); Middle: Move to 1% of history; Right: Top line to mark. Press and hold Left mouse button to scroll upwards repeatedly. Right: downwards.



Dynamic Lisp Listener 2

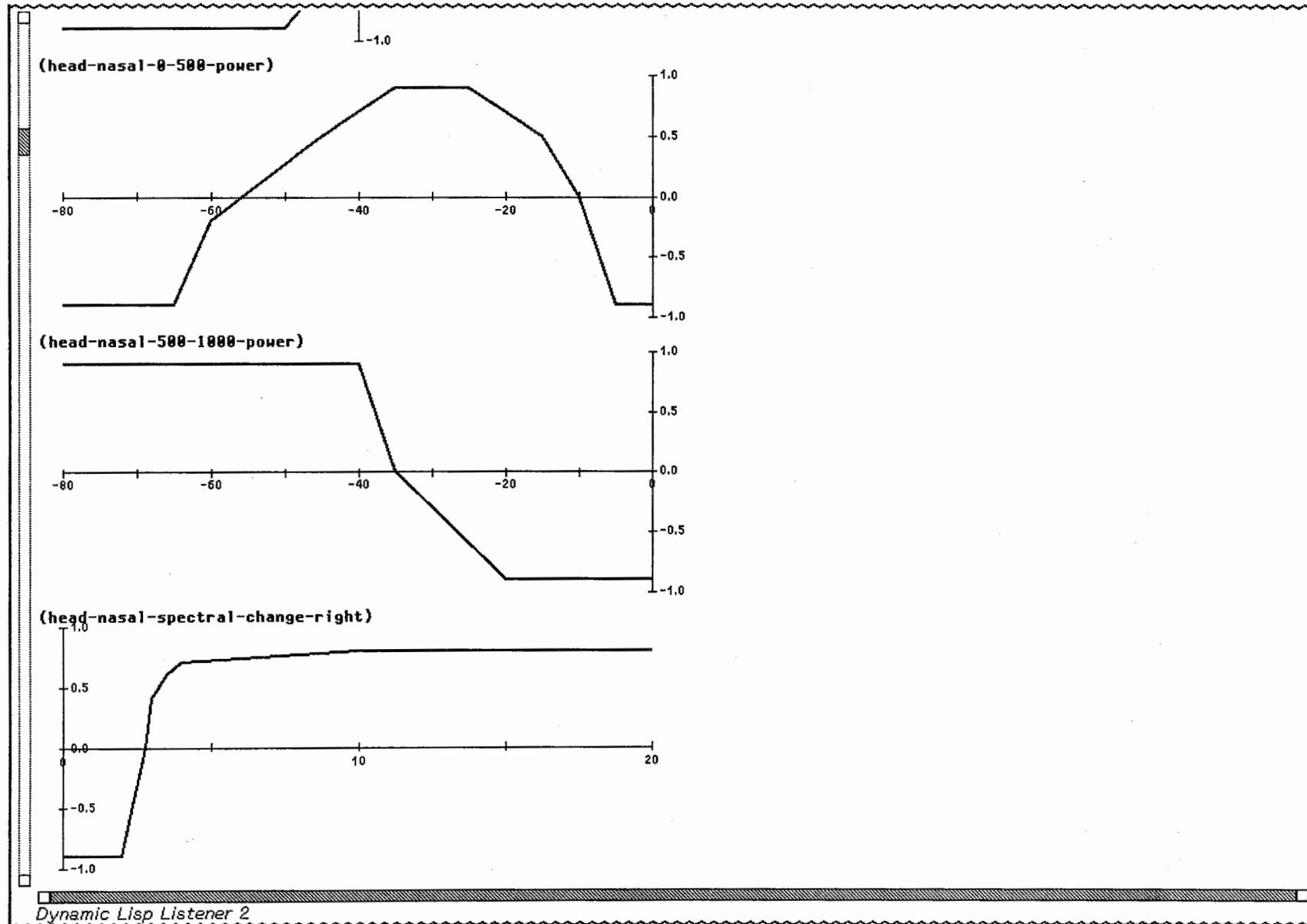
Mouse-R: Menu.

To see other commands, press Shift, Control, Meta-Shift, or Super.

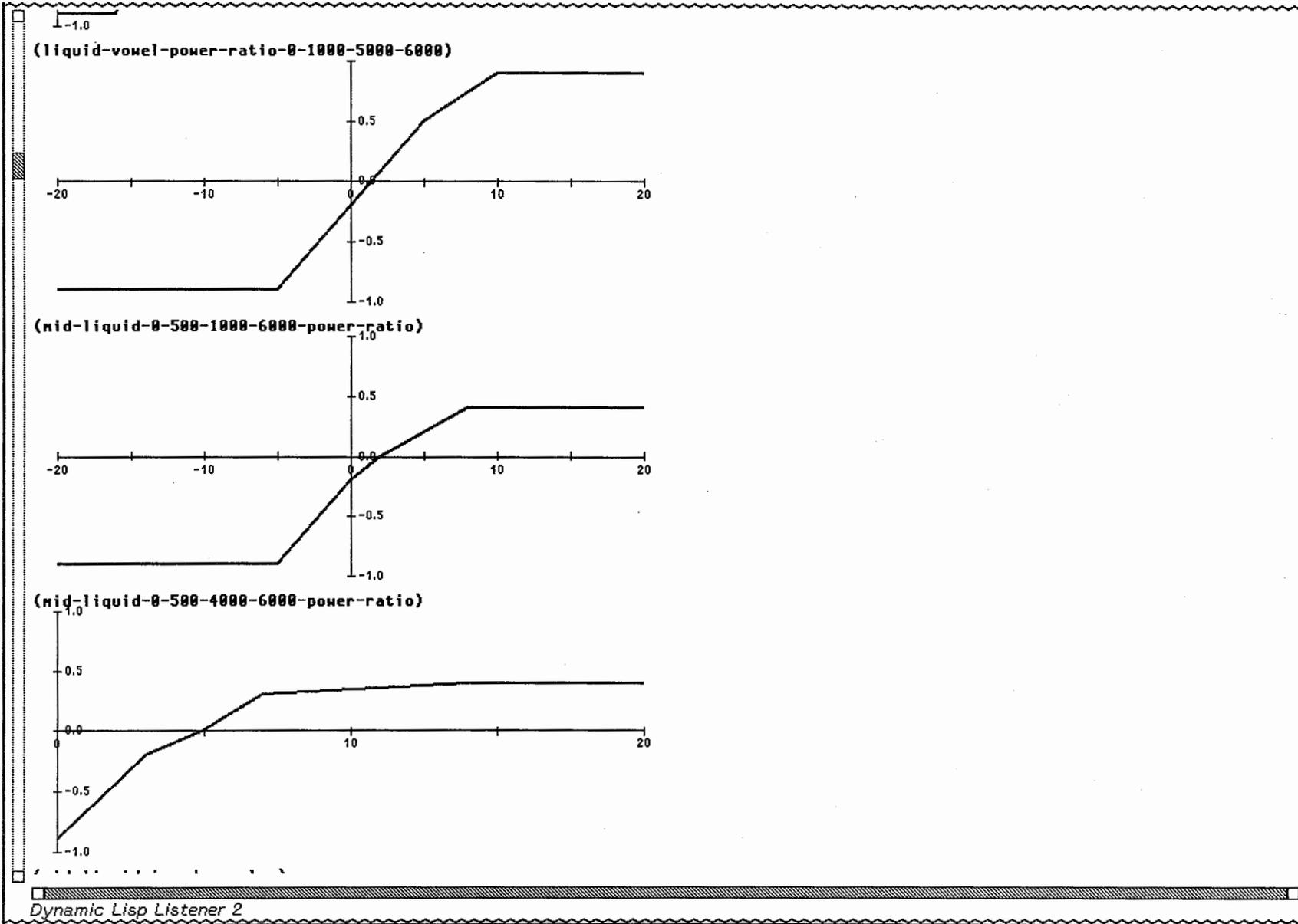


Dynamic Lisp Listener 2

Left: Marked line to top (shift-Left: to bottom); Middle: Move to 98% of history; Right: Top line to mark. Press and hold Left mouse button to scroll upwards repeatedly. Right: downwards.

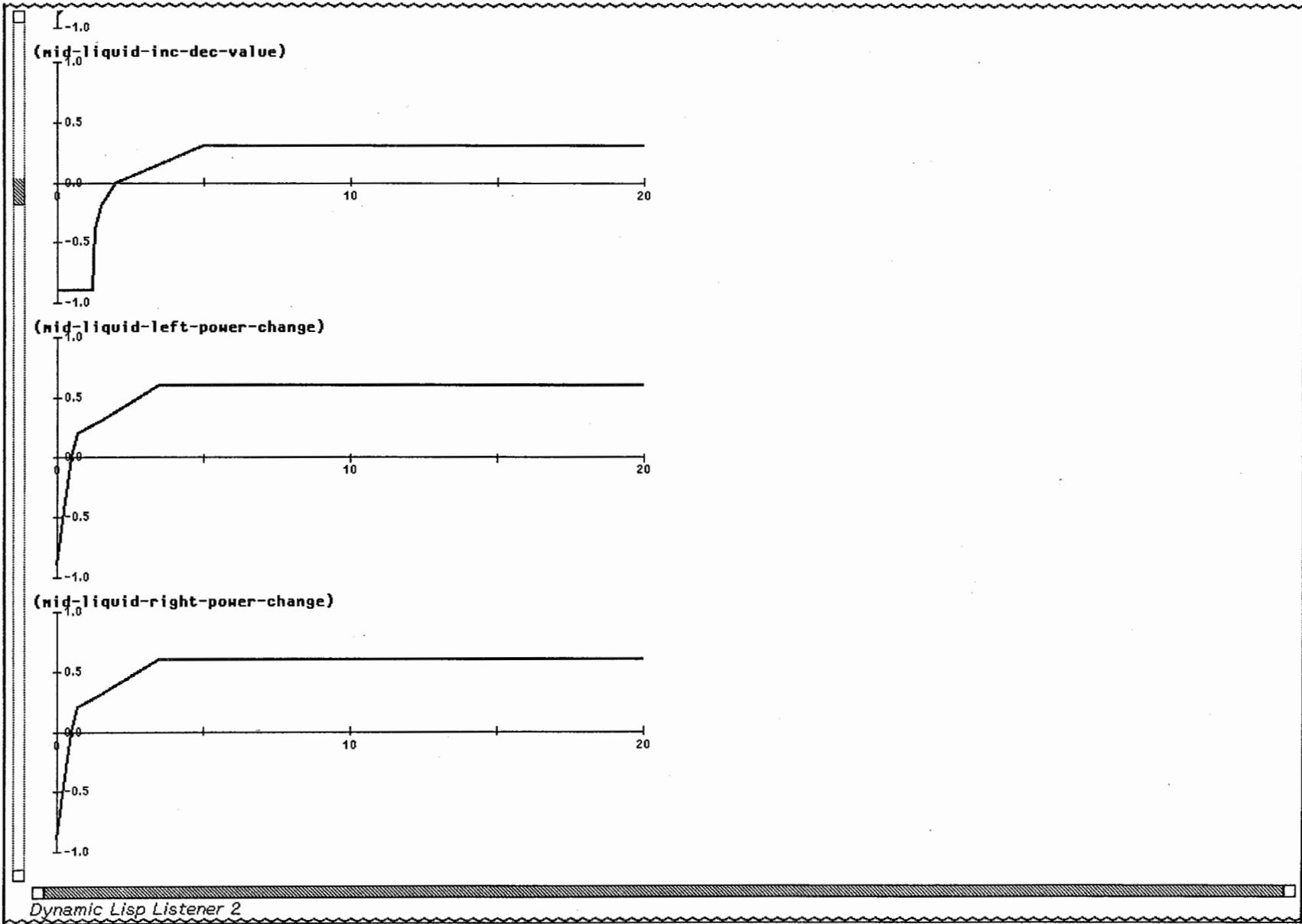


Left: Marked line to top (shift-Left: to bottom); Middle: Move to 0% of history; Right: Top line to mark. Press and hold Left mouse button to scroll upwards repeatedly. Right: downwards.



Dynamic Lisp Listener 2

Mouse-R: Menu.  
 To see other commands, press Shift, Control, Meta-Shift, or Super.



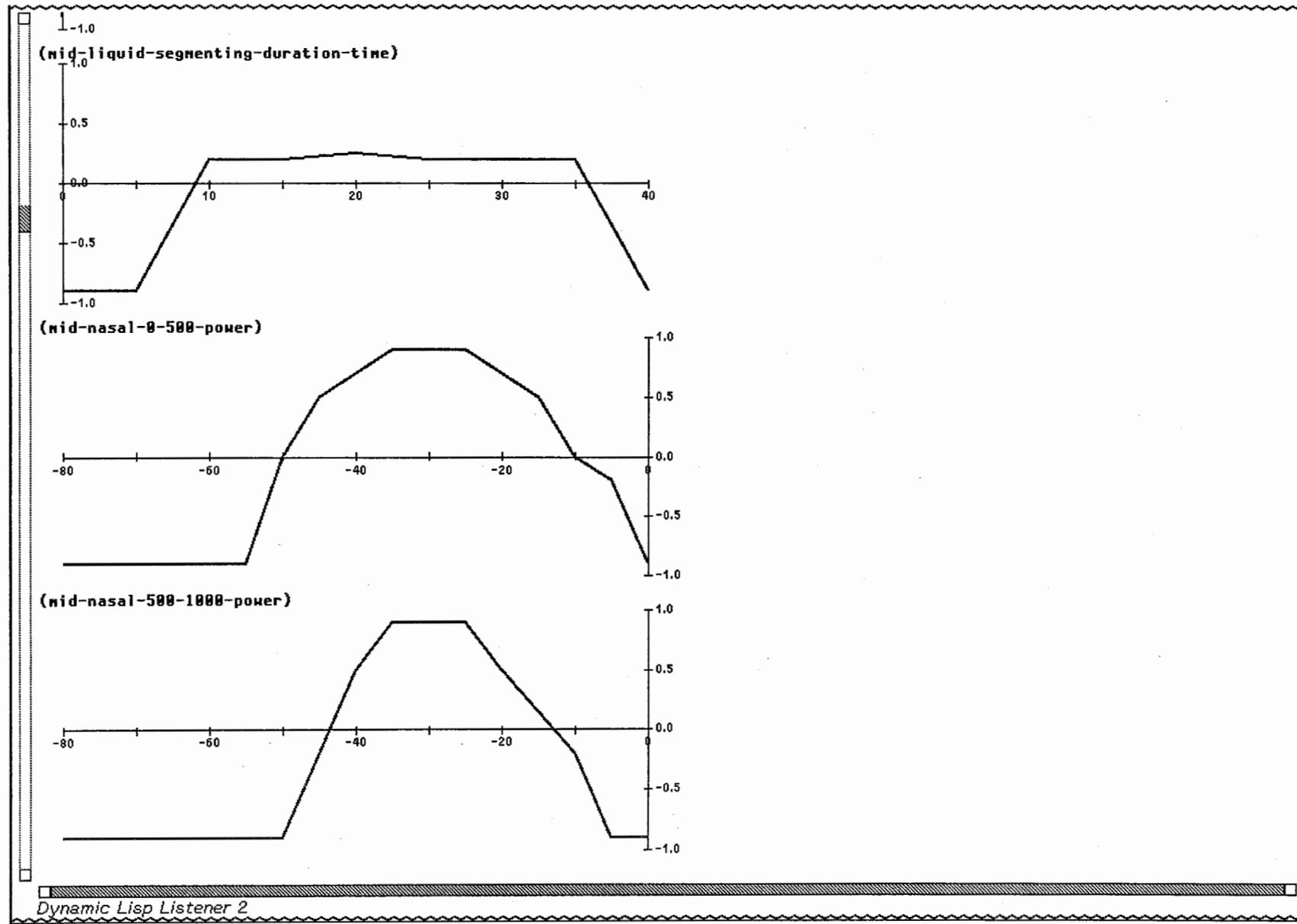
Mouse-R: Menu.

To see other commands, press Shift, Control, Meta-Shift, or Super.

[Wed 22 Mar 1:17:28] Keyboard

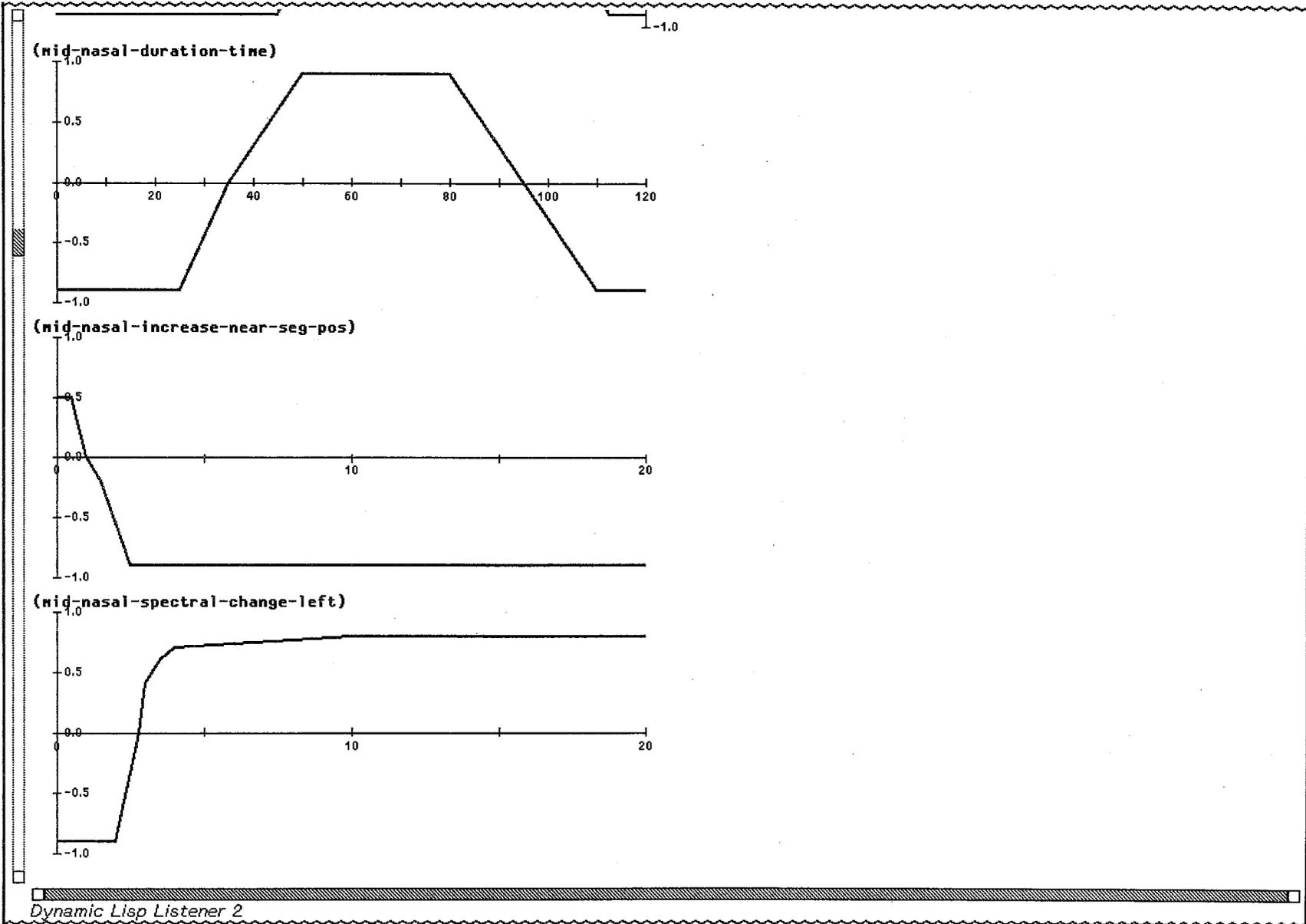
CL ACU:

User Input



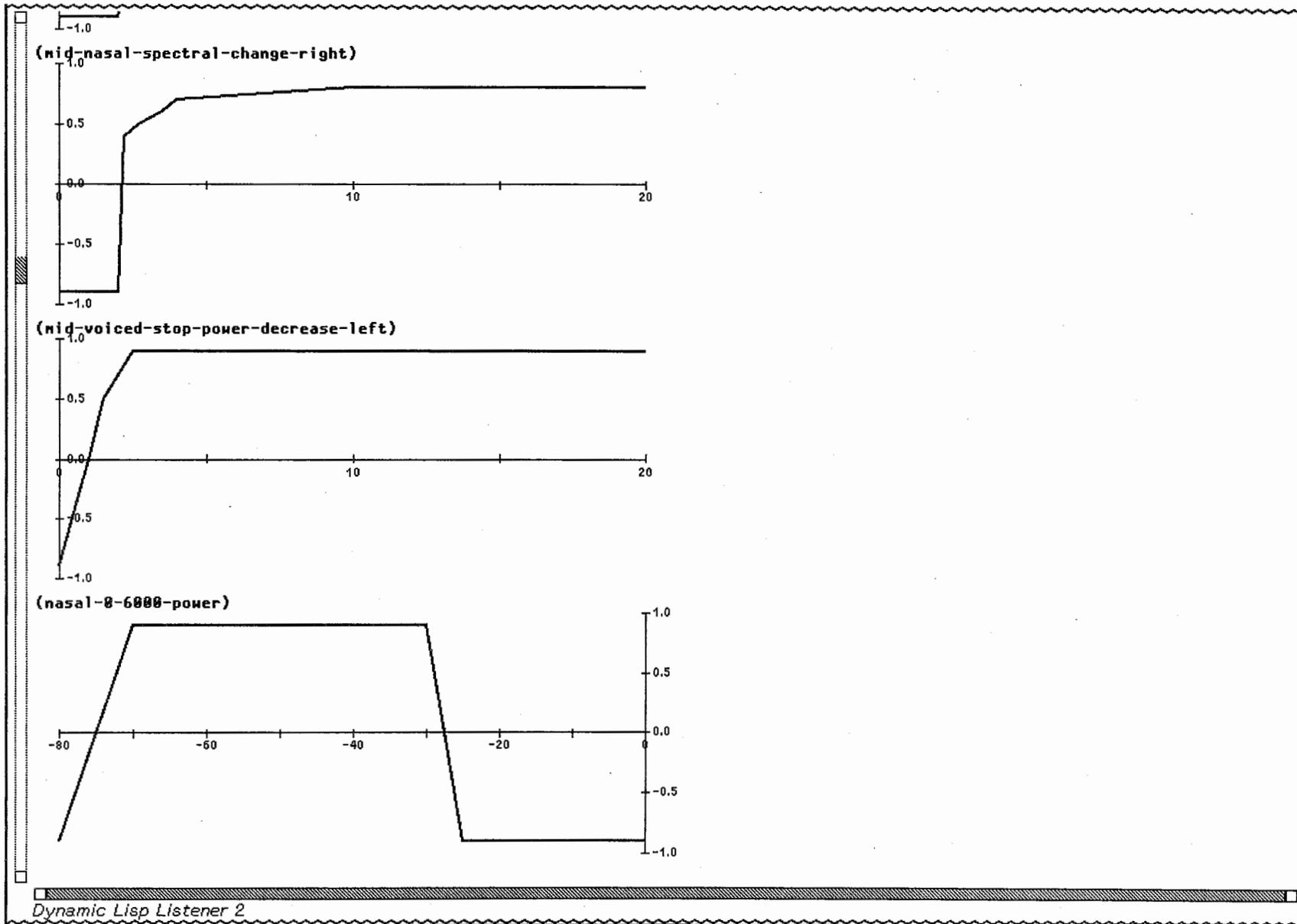
Dynamic Lisp Listener 2

Mouse-R: Menu.  
 To see other commands, press Shift, Control, Meta-Shift, or Super.

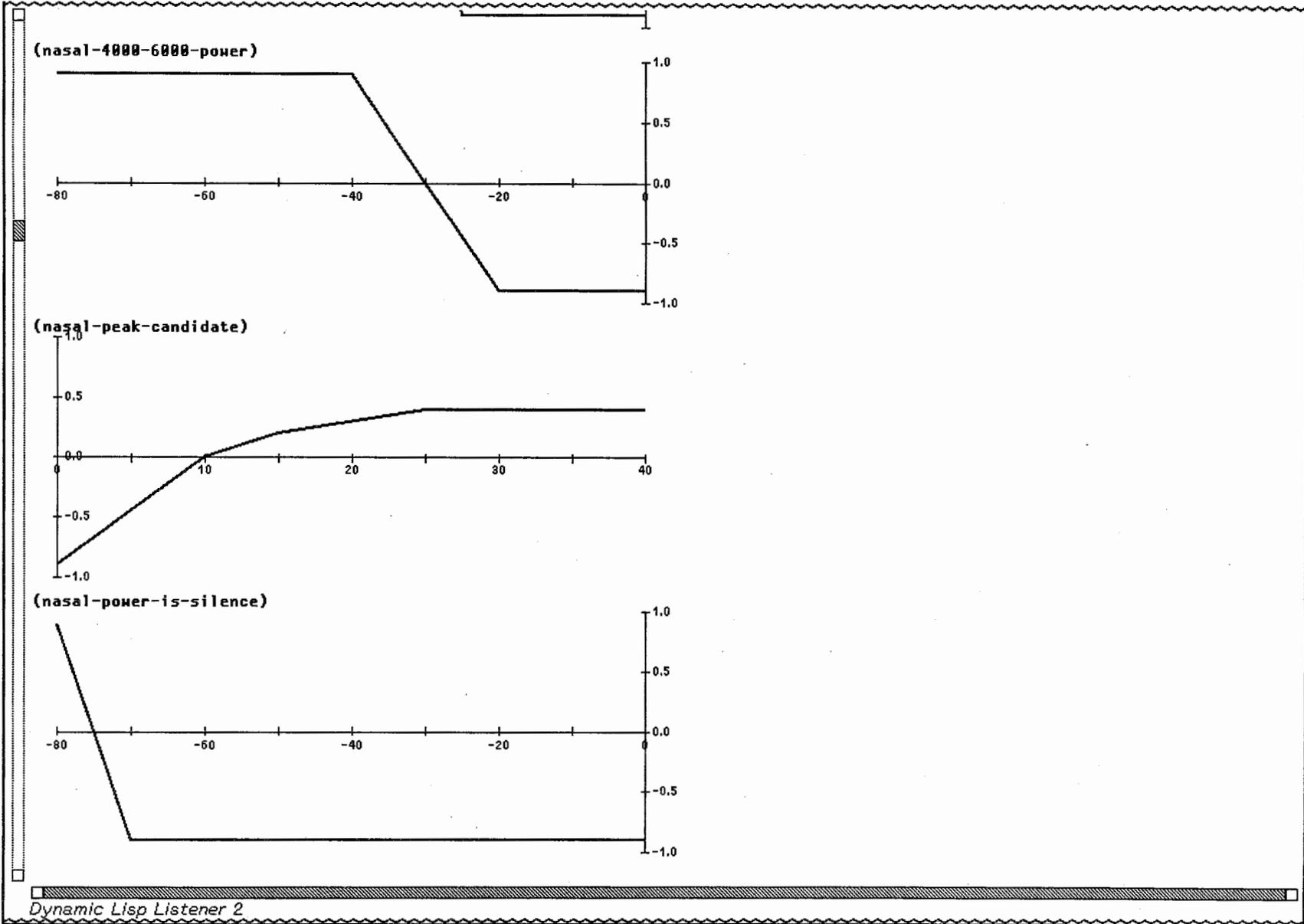


Dynamic Lisp Listener 2

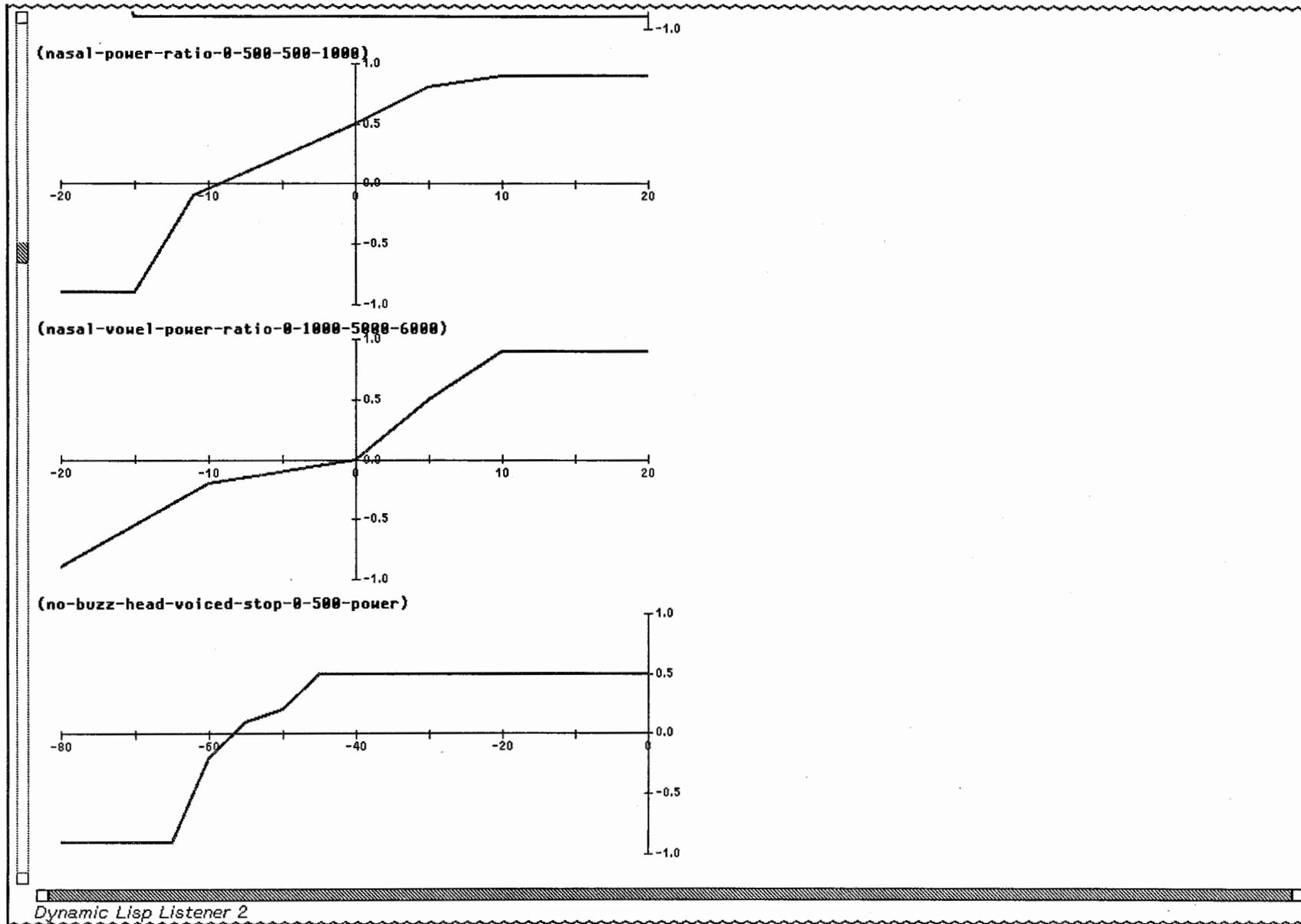
Mouse-R: Menu.  
 To see other commands, press Shift, Control, Meta-Shift, or Super.



Left: Marked line to top (shift-Left: to bottom); Middle: Move to 97% of history; Right: Top line to mark. Press and hold left mouse button to scroll upwards repeatedly. Right: downwards.

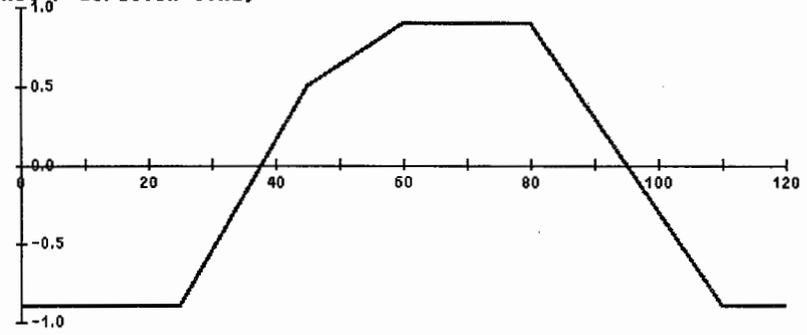


Left: Marked line to top (shift-Left: to bottom); Middle: Move to 97% of history; Right: Top line to mark. Press and hold Left mouse button to scroll upwards repeatedly. Right: downwards.

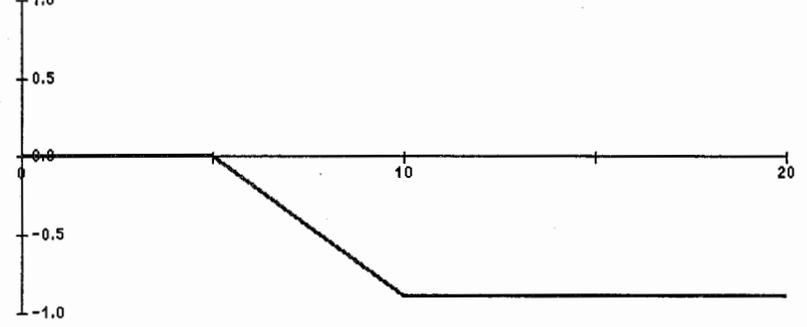


Left: Marked line to top (shift-Left: to bottom); Middle: Move to 98% of history; Right: Top line to mark. Press and hold left mouse button to scroll upwards repeatedly. Right: Top line to mark.

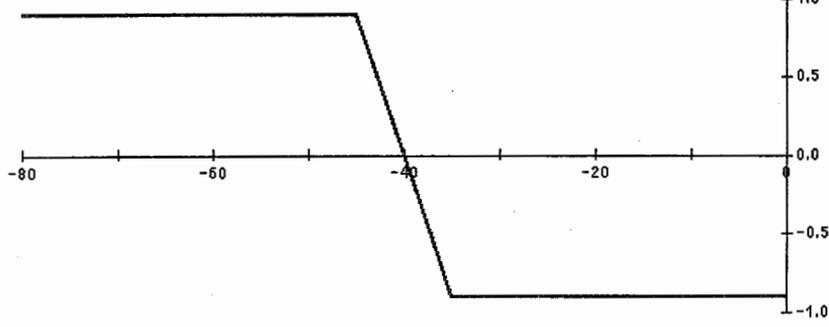
(not-r-duration-time)



(start-time-vowel-end-difference)



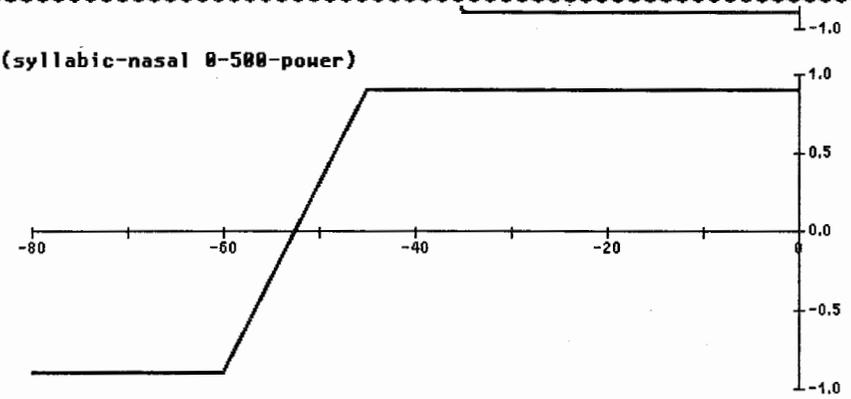
(syllabic-nasal 1000-6000-power)



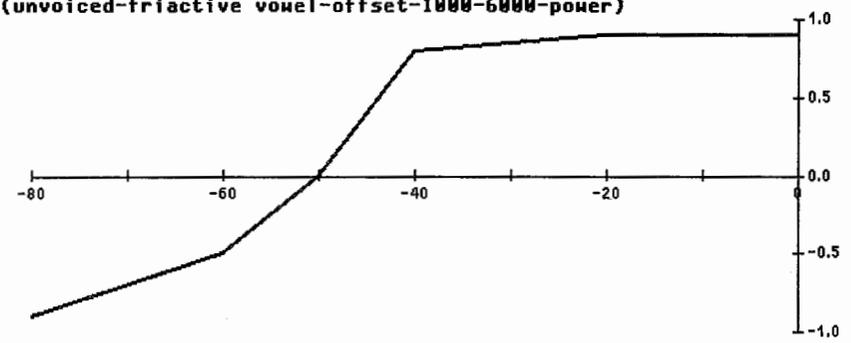
Dynamic Lisp Listener 2

Left: Marked line to top (shift-Left: to bottom); Middle: Move to 98% of history; Right: Top line to mark. Press and hold left mouse button to scroll upwards repeatedly. Right: downwards.

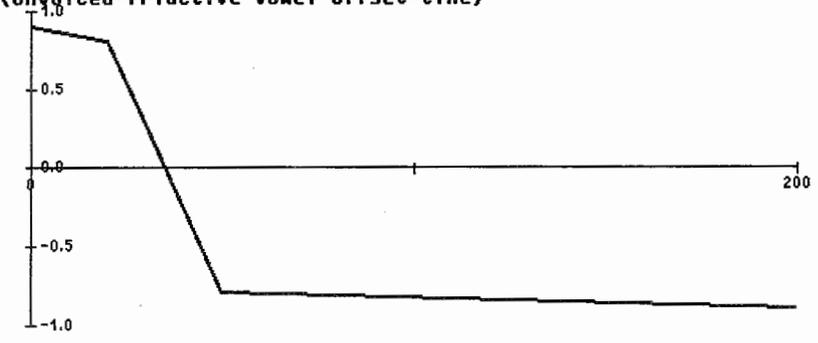
(syllabic-nasal 0-500-power)



(unvoiced-friacive vowel-offset-1000-6000-power)

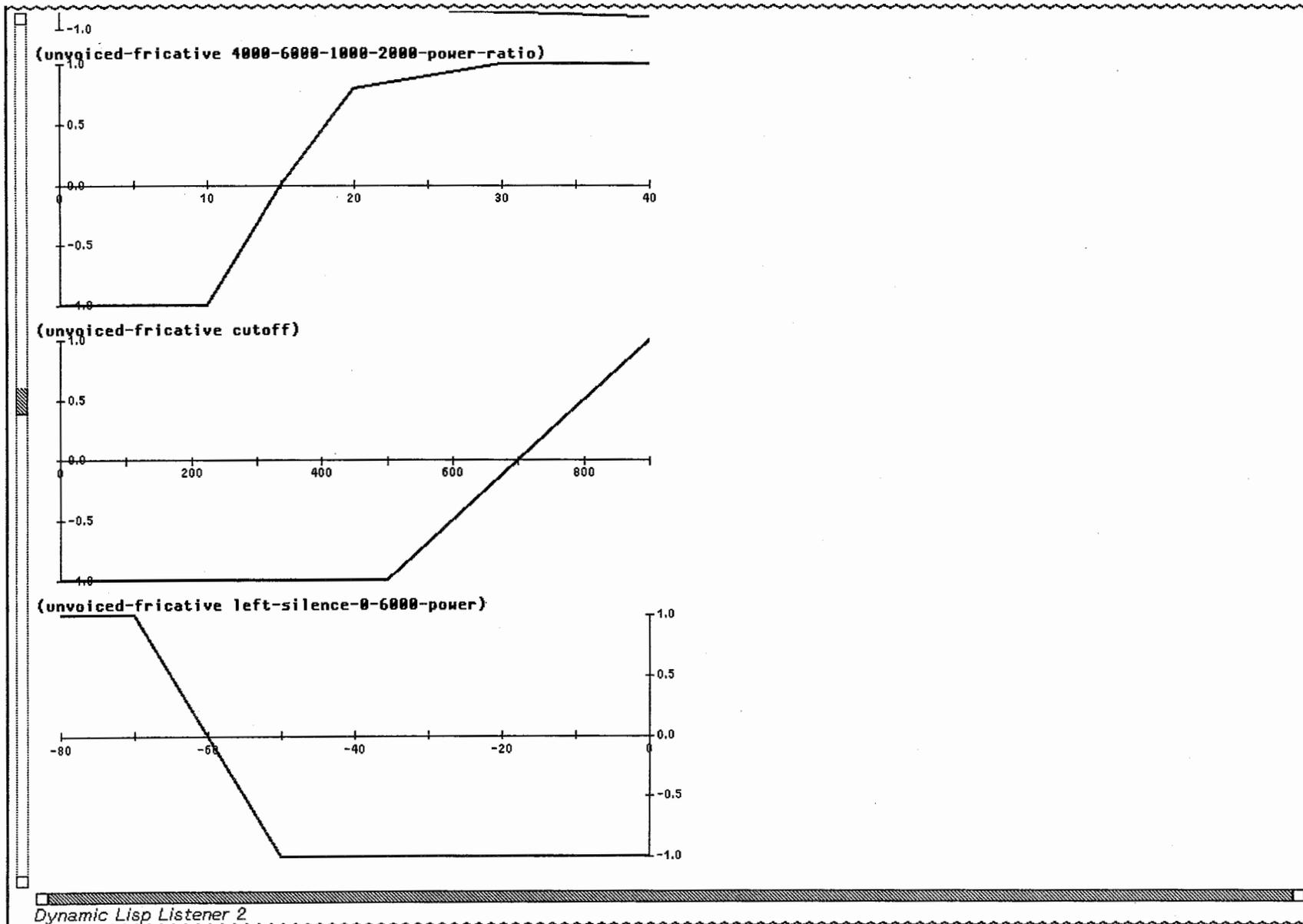


(unvoiced-friacive vowel-offset-time)

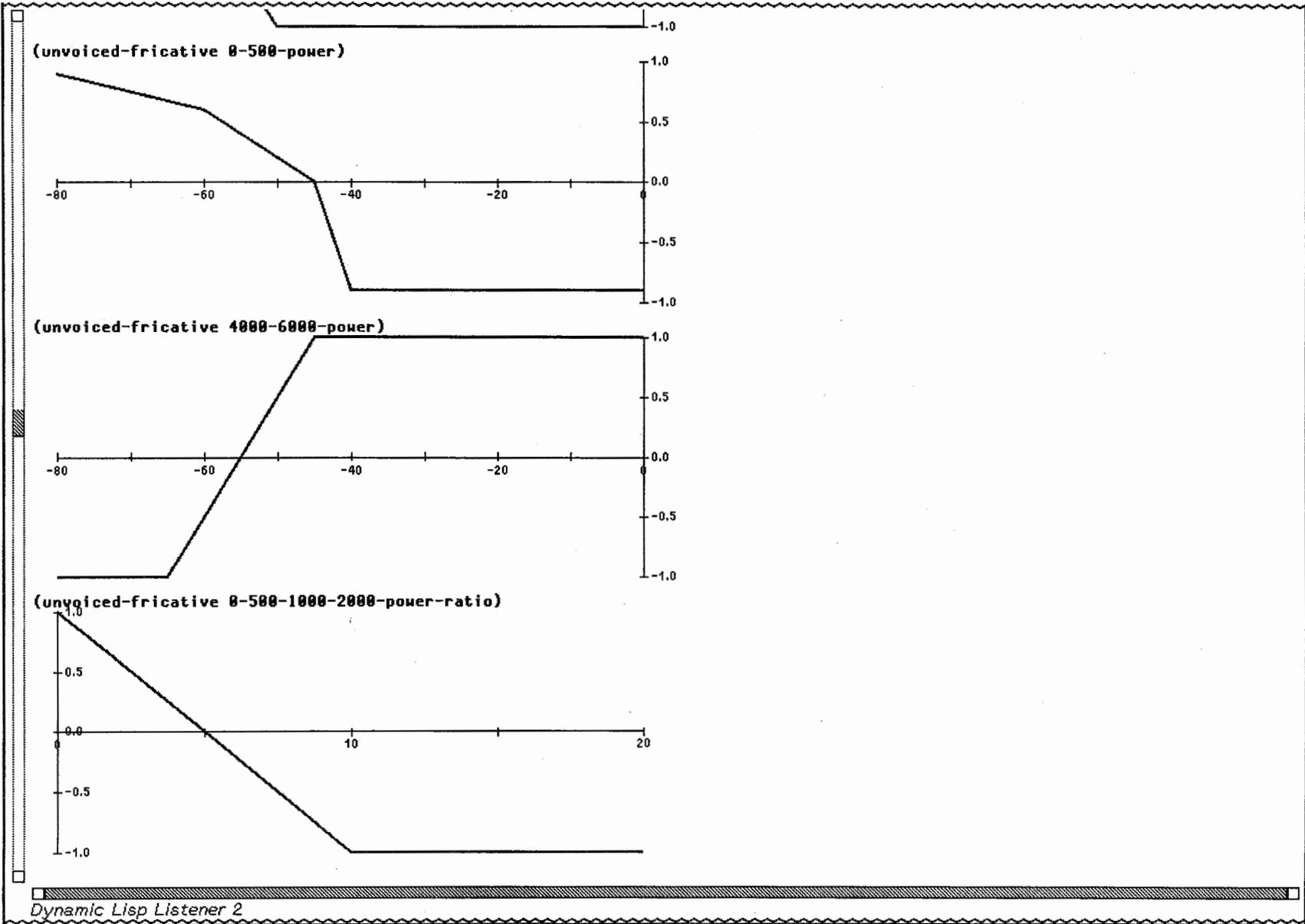


Dynamic Lisp Listener 2

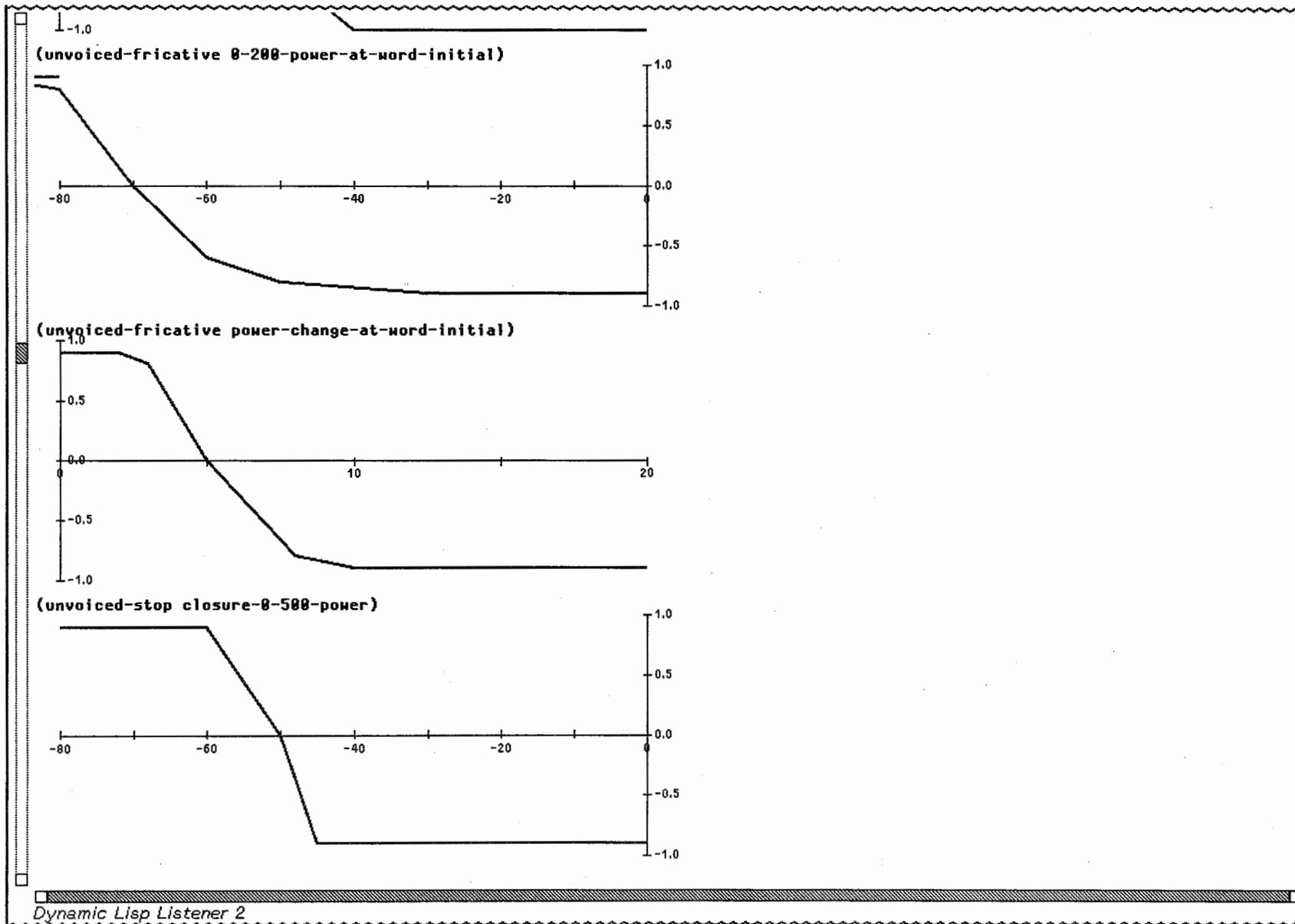
Left: Marked line to top (shift-Left: to bottom); Middle: Move to 97% of history; Right: Top line to mark. Press and hold Left mouse button to scroll upwards repeatedly. Right: downwards.



Left: Marked line to top (shift-Left: to bottom); Middle: Move to 97% of history; Right: Top line to mark. Press and hold Left mouse button to scroll upwards repeatedly. Right: downwards.



Left: Marked line to top (shift-Left: to bottom); Middle: Move to 97% of history; Right: Top line to mark. Press and hold Left mouse button to scroll upwards repeatedly. Right: downwards.



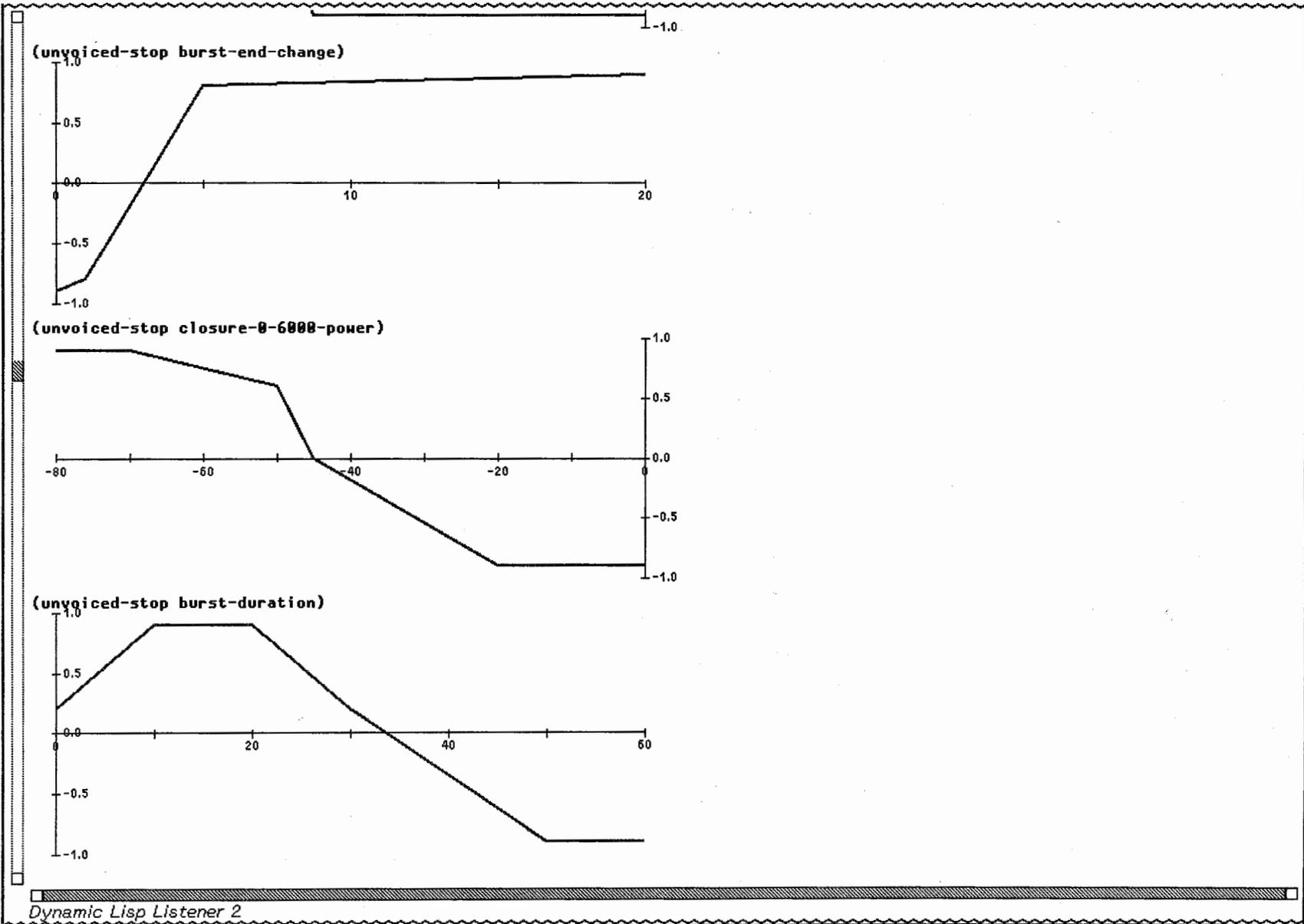
Mouse-R: Menu.

To see other commands, press Shift, Control, Meta-Shift, or Super.

[Wed 22 Mar 5:42:19] Tanaka

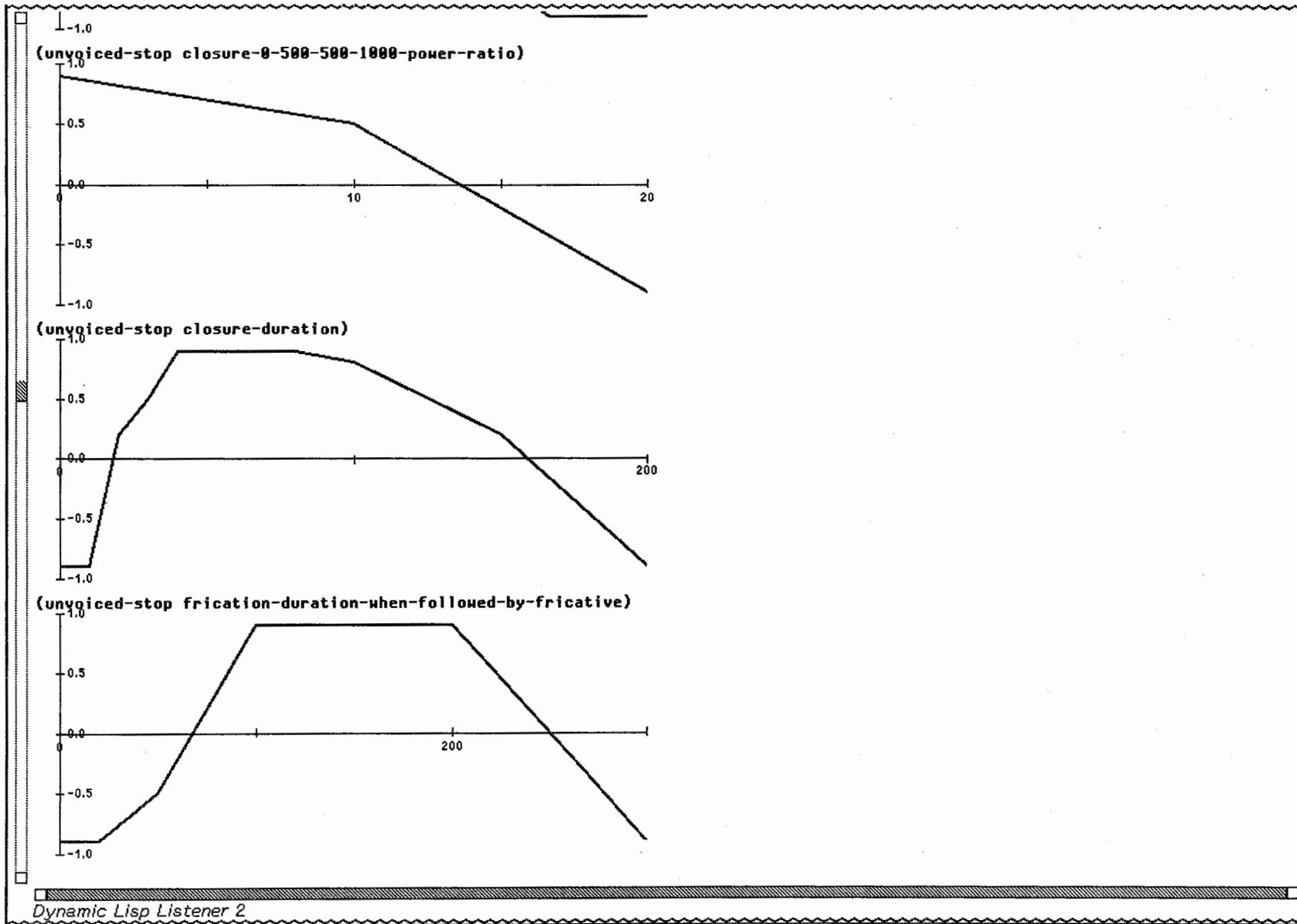
CL ACU:

User Input

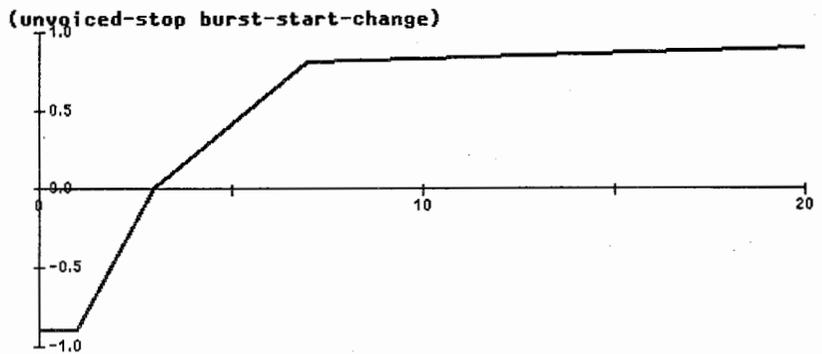
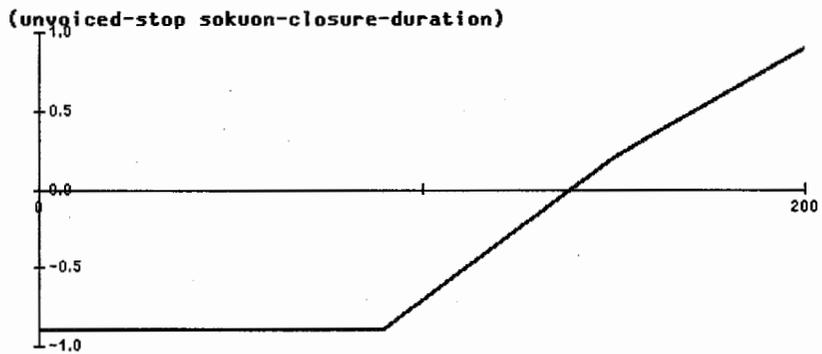
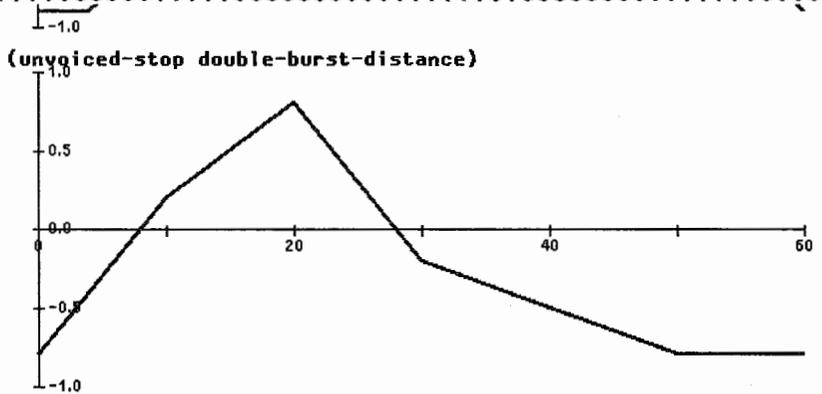


Dynamic Lisp Listener 2

Left: Marked line to top (shift-Left: to bottom); Middle: Move to 98% of history; Right: Top line to mark. Press and hold Left mouse button to scroll upwards repeatedly. Right: downwards.

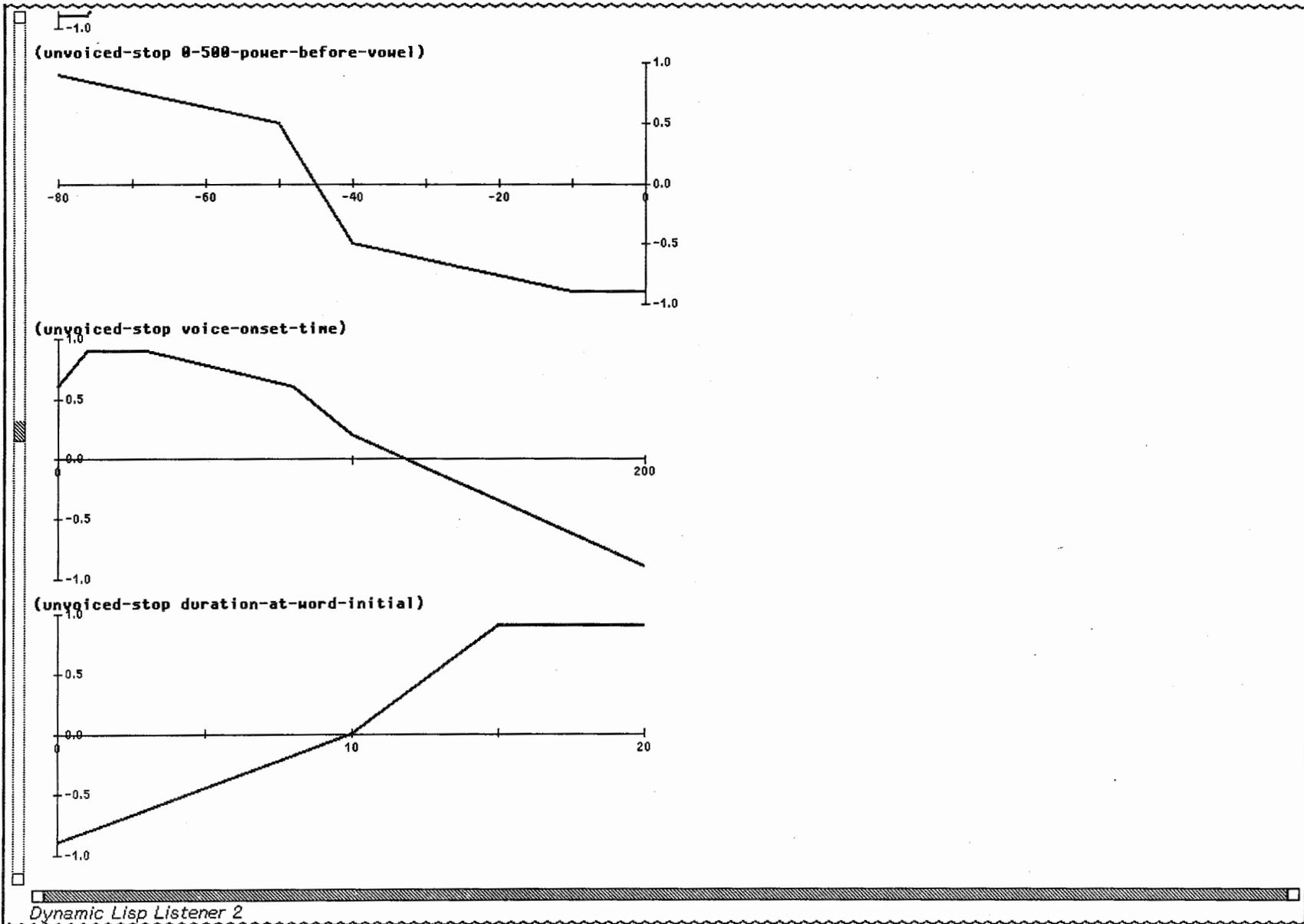


Left: Marked line to top (shift-Left: to bottom); Middle: Move to 97% of history; Right: Top line to mark. Press and hold left mouse button to scroll upwards repeatedly. Right: downwards.

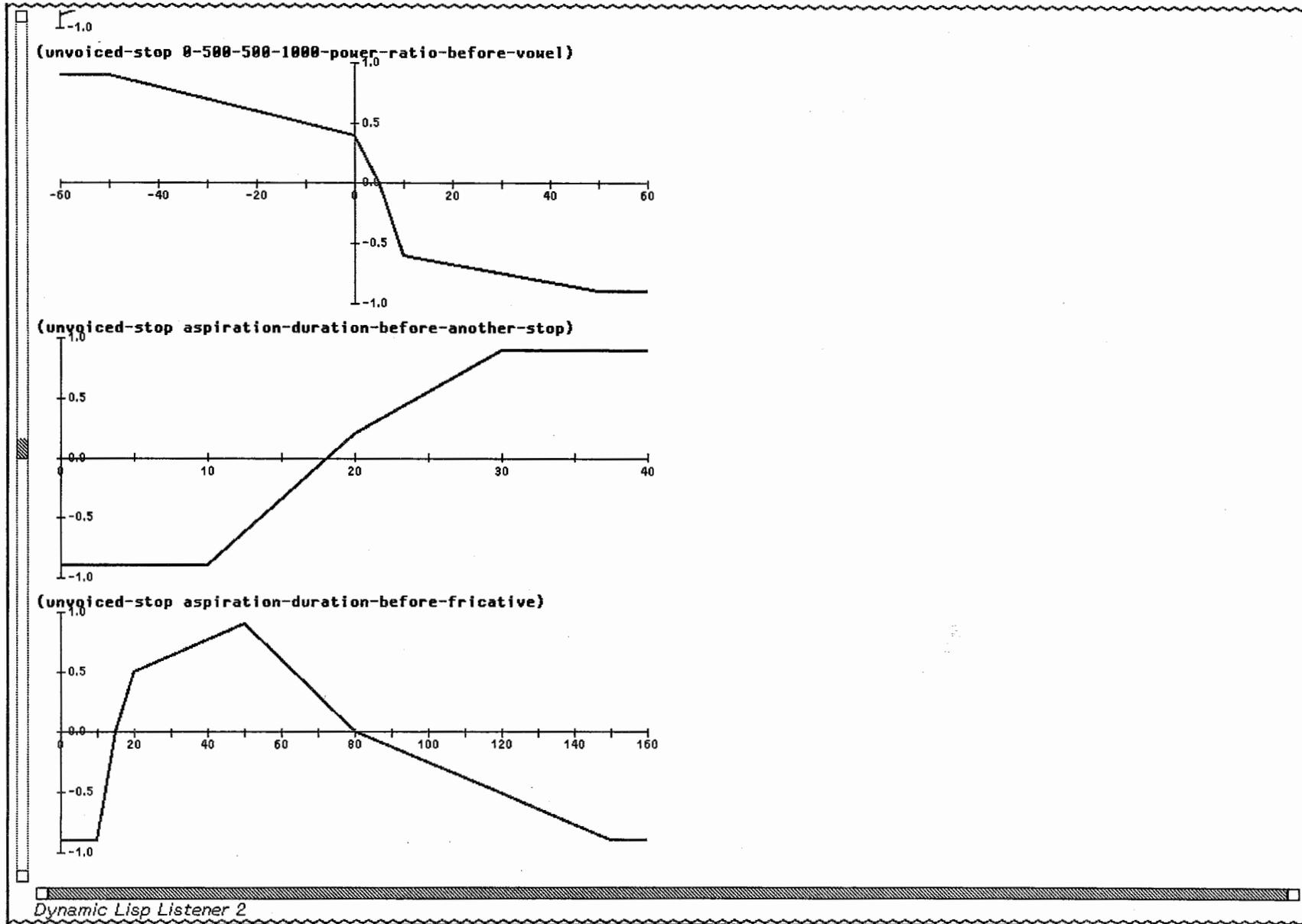


Dynamic Lisp Listener 2

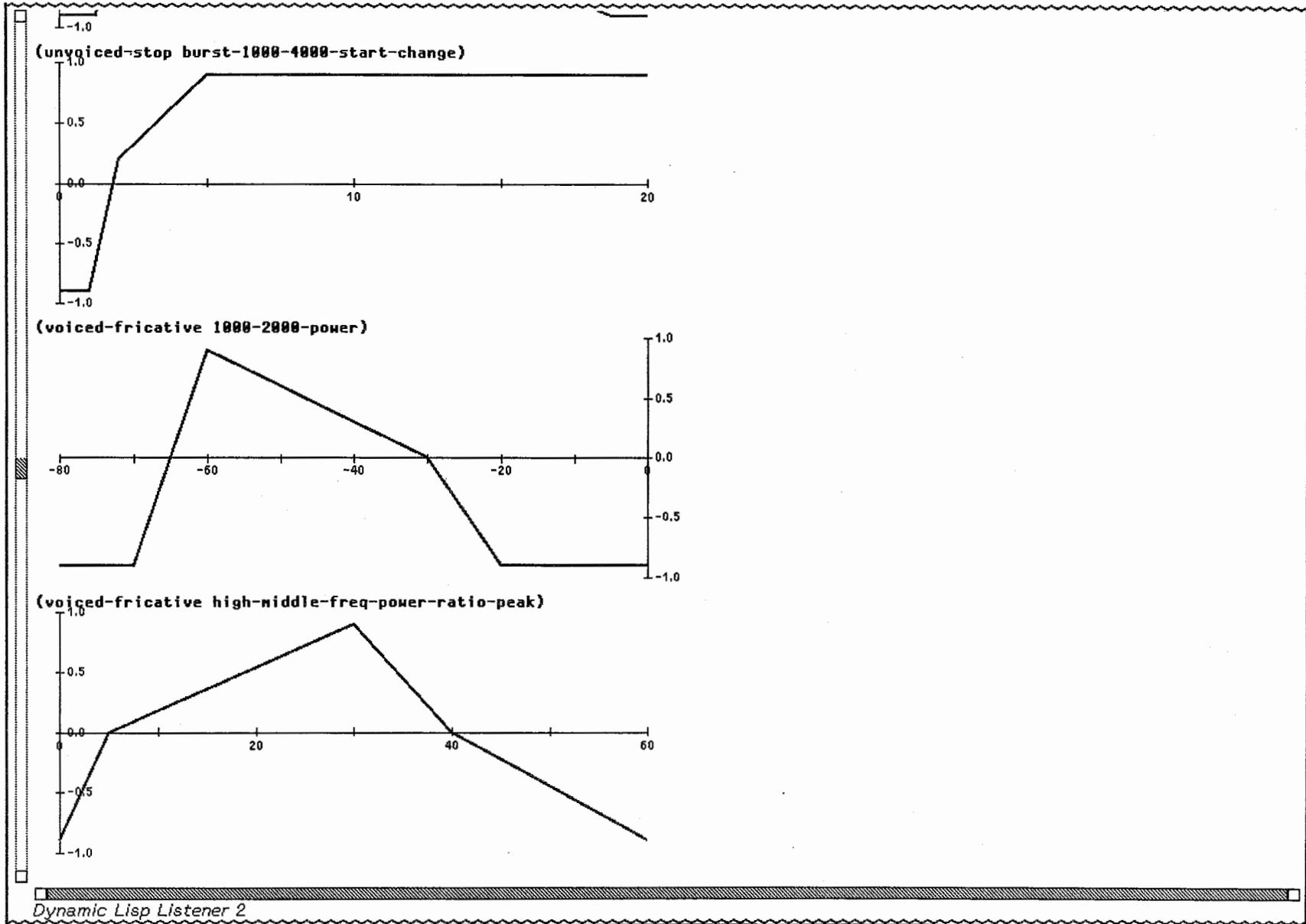
Left: Marked line to top (shift-Left: to bottom); Middle: Move to 97% of history; Right: Top line to mark. Press and hold Left mouse button to scroll upwards repeatedly. Right: downwards.



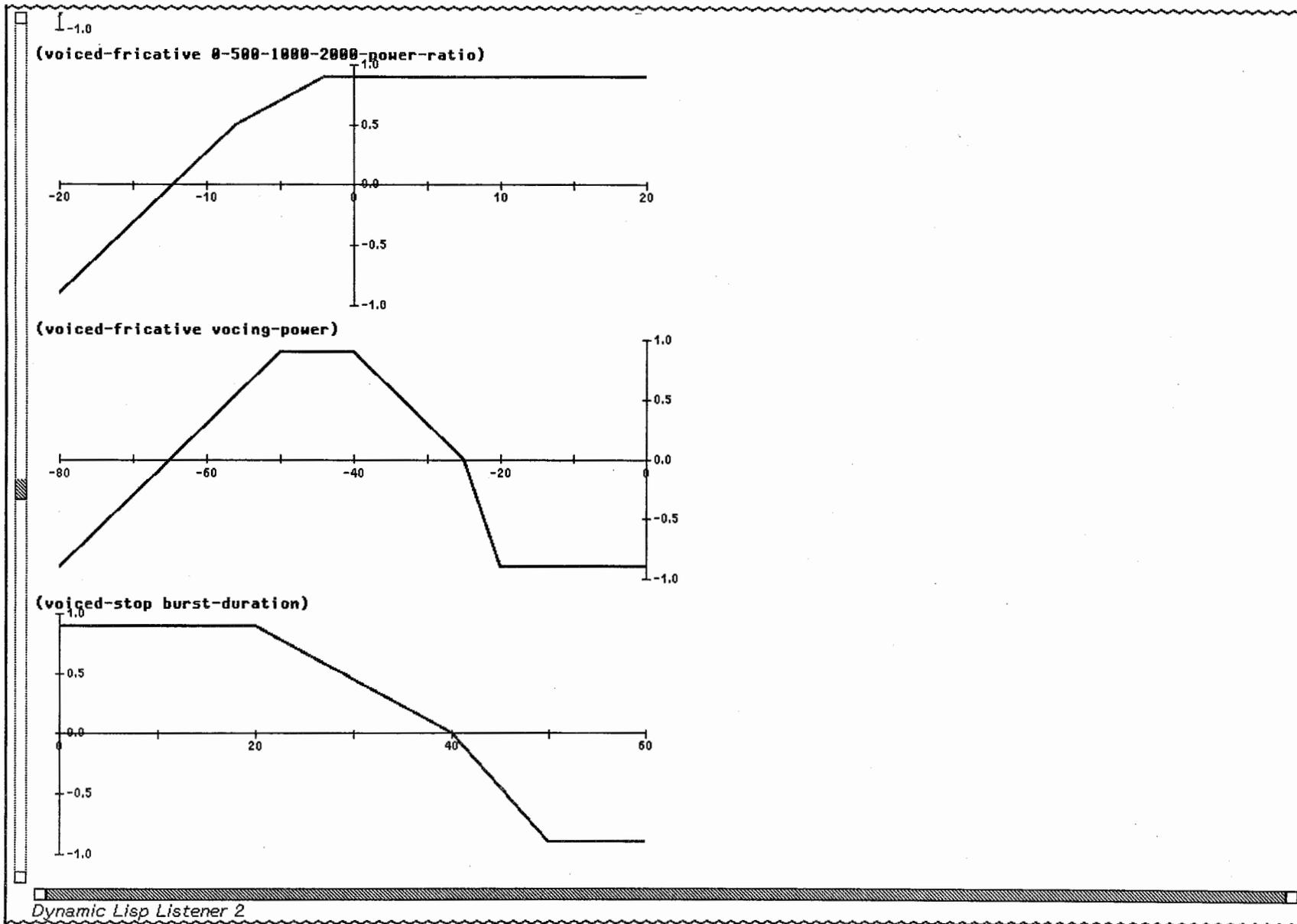
Left: Marked line to top (shift-Left: to bottom); Middle: Move to 98% of history; Right: Top line to mark. Press and hold Left mouse button to scroll upwards repeatedly. Right: downwards.



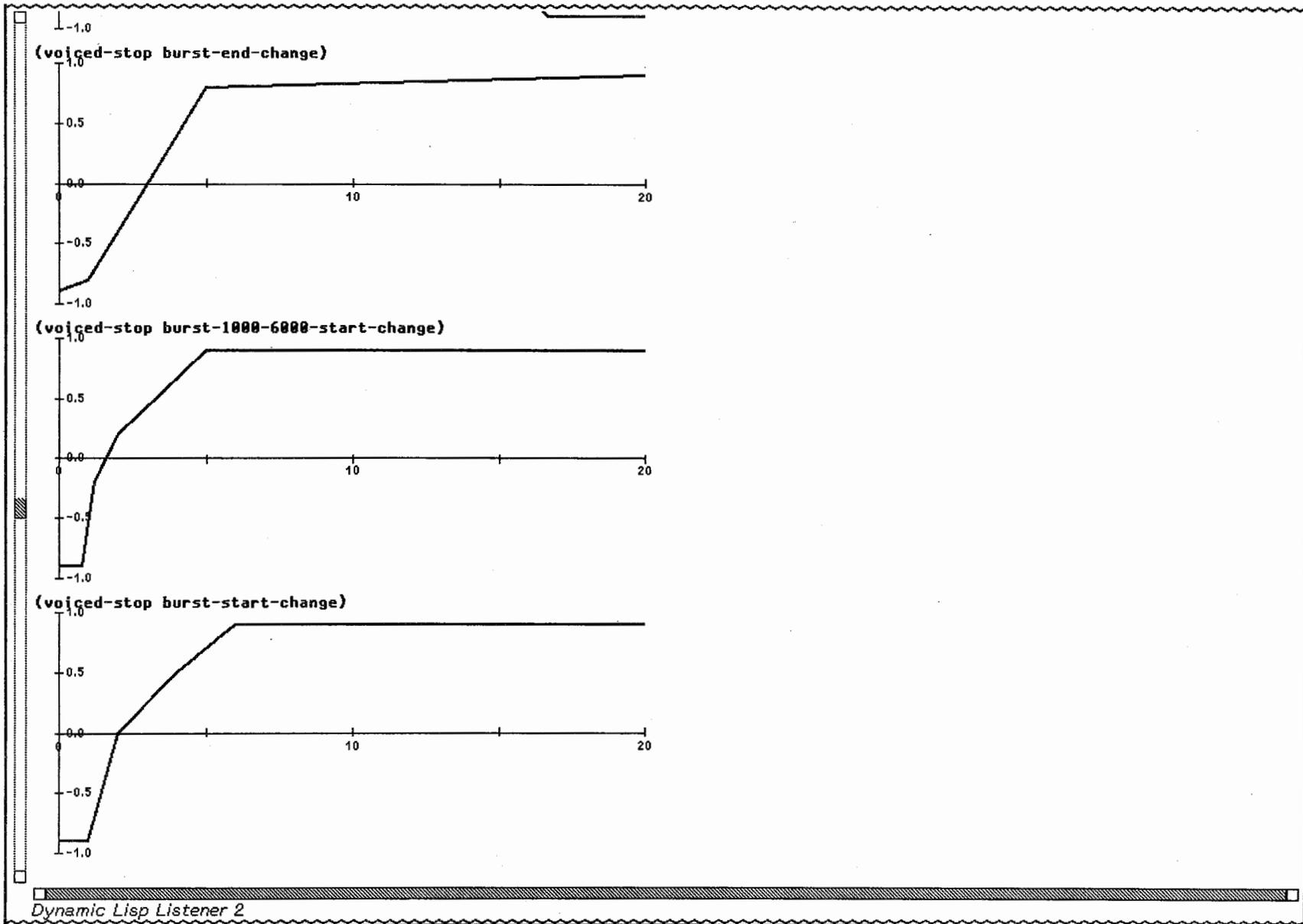
Left: Marked line to top (shift-Left: to bottom); Middle: Move to 98% of history; Right: Top line to mark. Press and hold Left mouse button to scroll upwards repeatedly. Right: downwards.



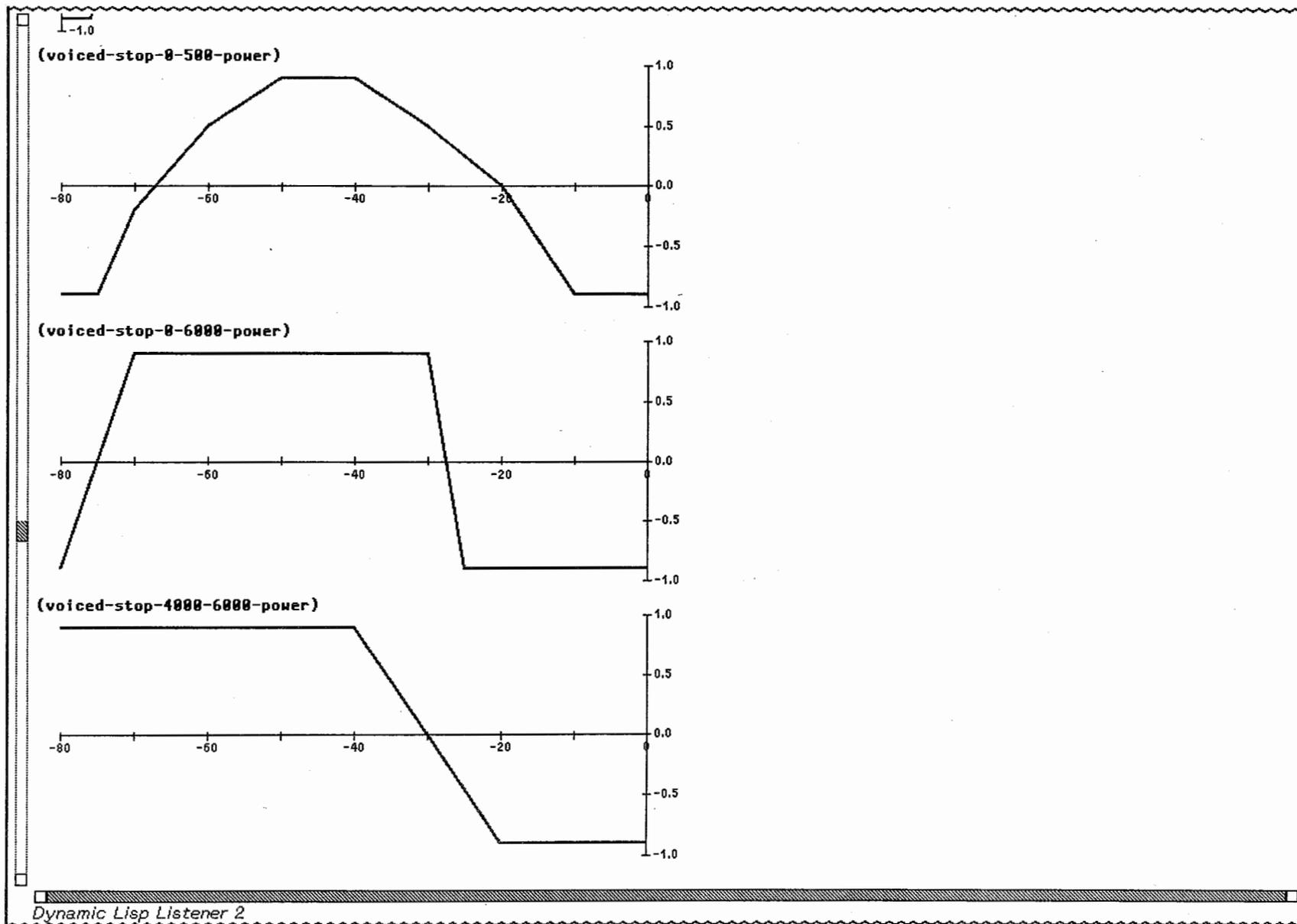
Left: Marked line to top (shift-Left: to bottom); Middle: Move to 98% of history; Right: Top line to mark. Press and hold Left mouse button to scroll upwards repeatedly. Right: downwards.



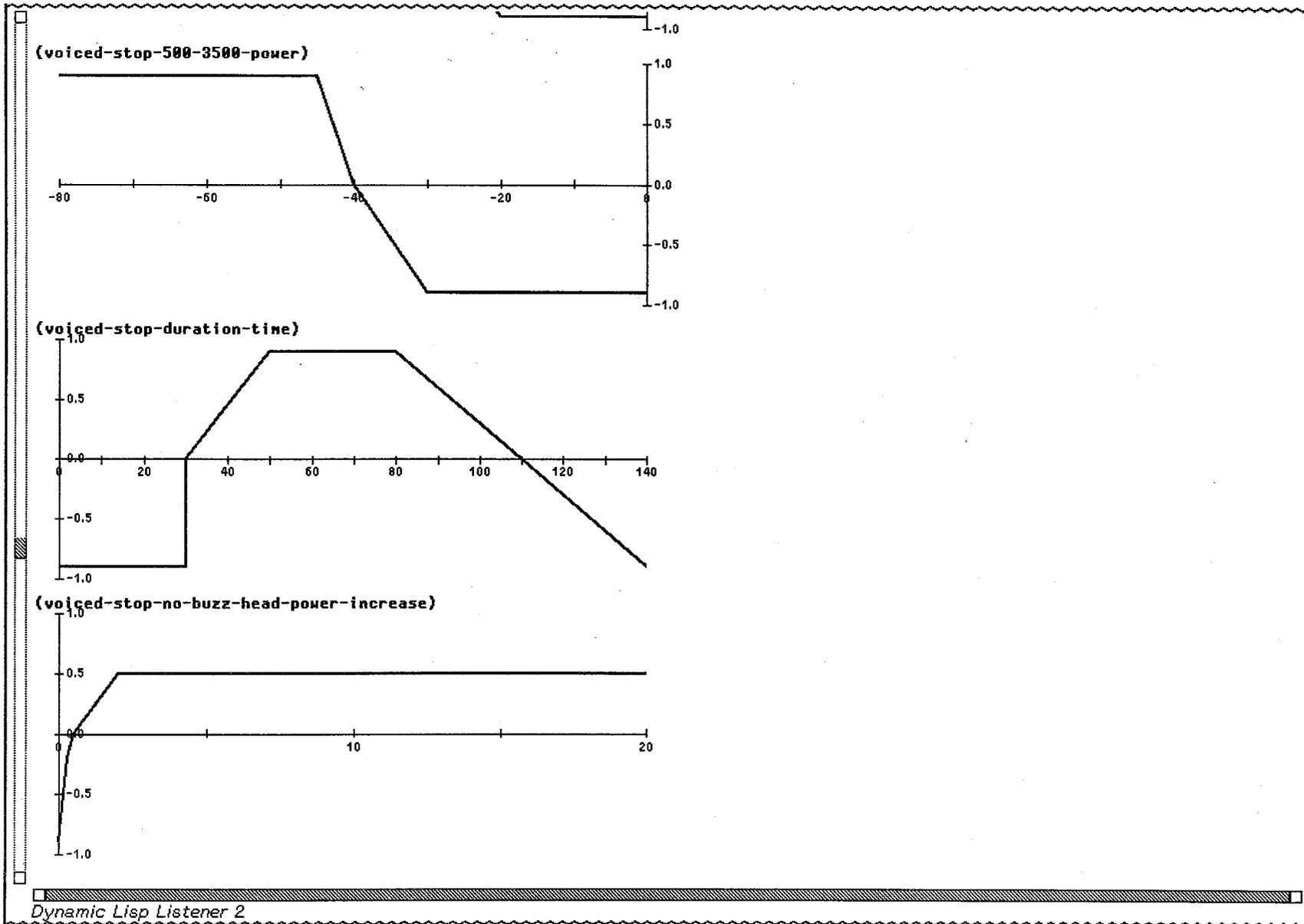
Left: Marked line to top (shift-Left: to bottom); Middle: Move to 98% of history; Right: Top line to mark. Press and hold Left mouse button to scroll upwards repeatedly. Right: downwards.



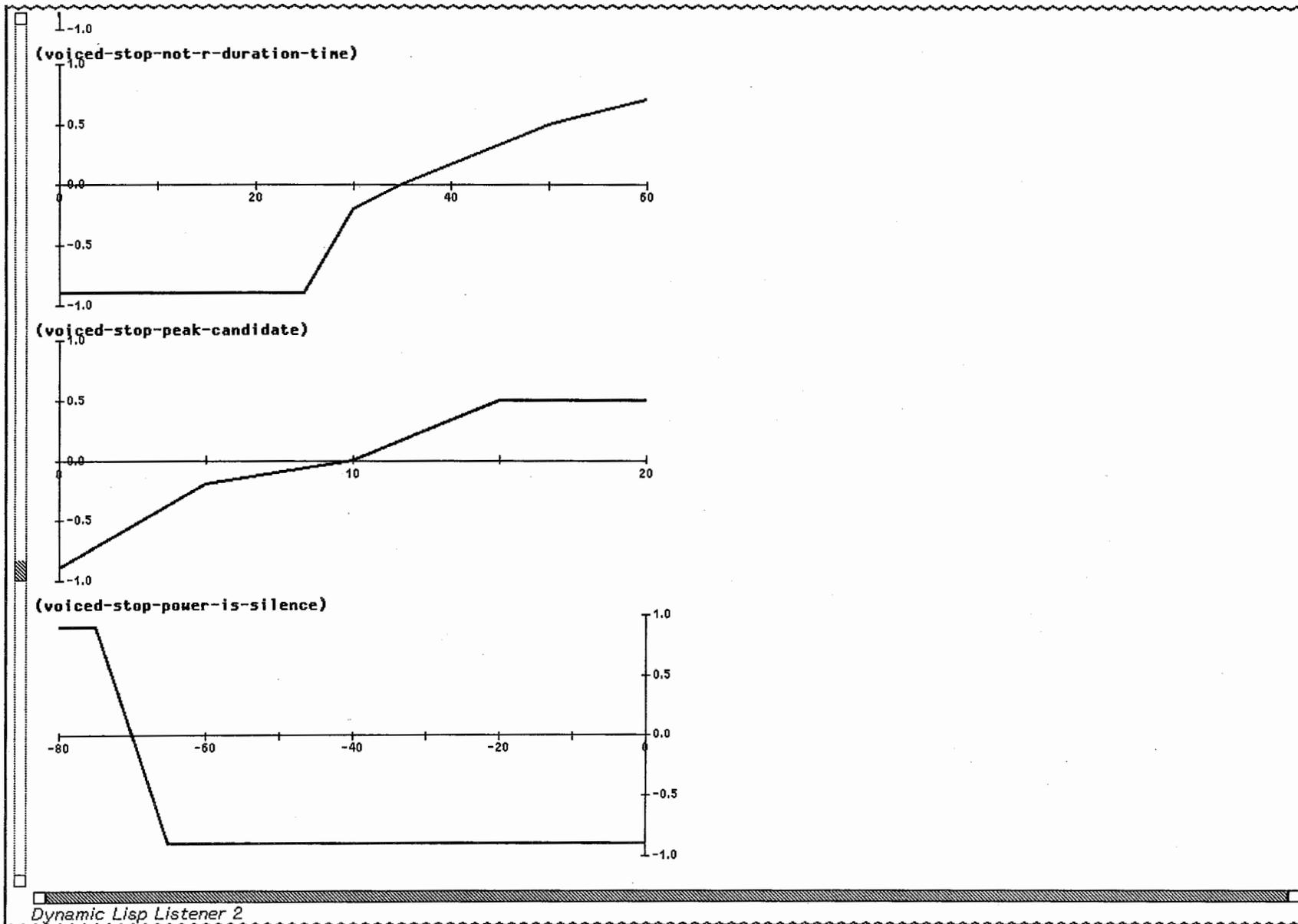
Left: Marked line to top (shift-Left: to bottom); Middle: Move to 98% of history; Right: Top line to mark. Press and hold Left mouse button to scroll upwards repeatedly. Right: downwards.



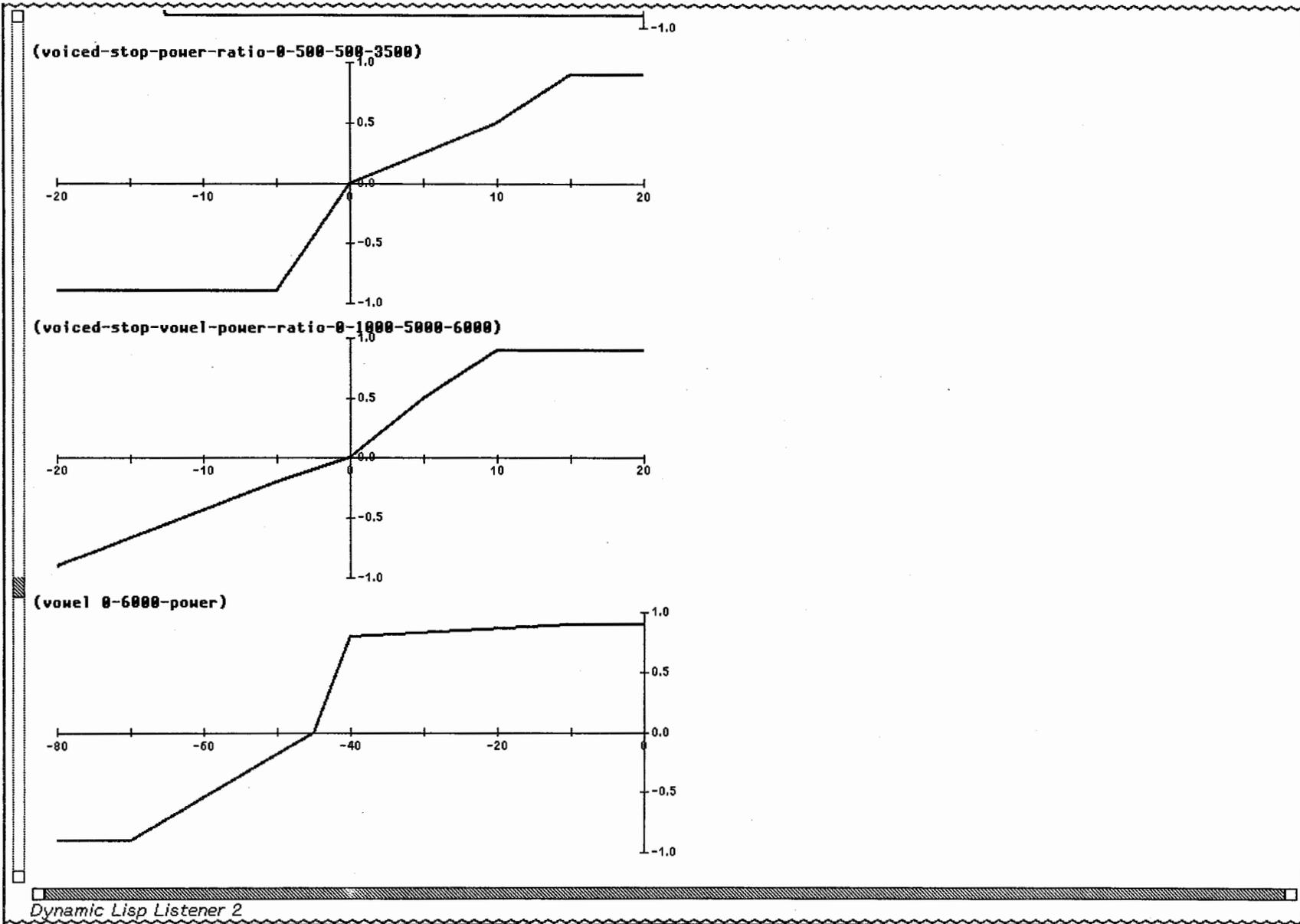
Left: Marked line to top (shift-Left: to bottom); Middle: Move to 97% of history; Right: Top line to mark.  
 Press and hold Left mouse button to scroll upwards repeatedly. Right: downwards.



Left: Marked line to top (shift-Left: to bottom); Middle: Move to 97% of history; Right: Top line to mark. Press and hold Left mouse button to scroll upwards repeatedly. Right: downwards.



Left: Marked line to top (shift-Left: to bottom); Middle: Move to 97% of history; Right: Top line to mark. Press and hold Left mouse button to scroll upwards repeatedly. Right: downwards.

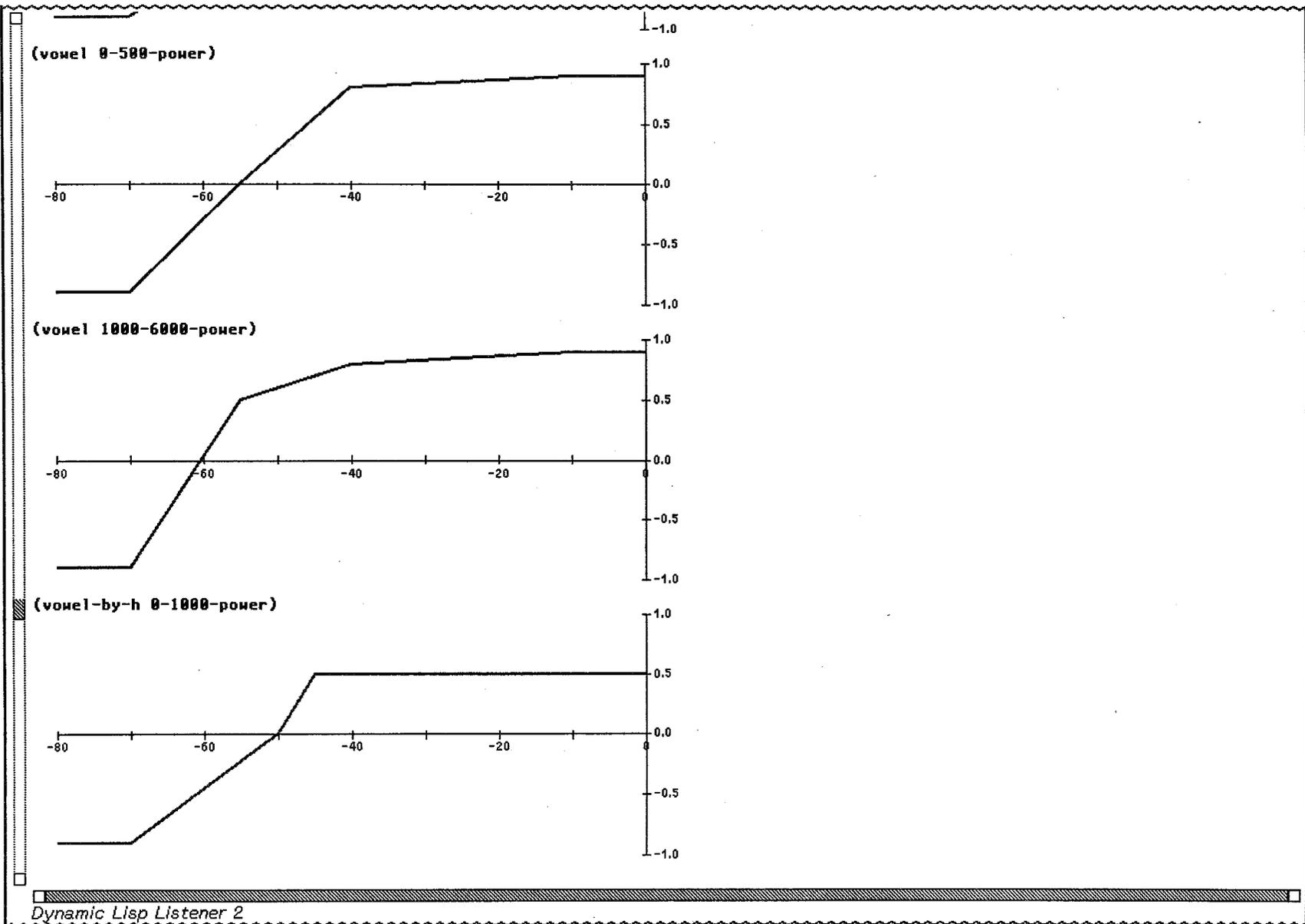


Left: Marked line to top (shift-Left: to bottom); Middle: Move to 97% of history; Right: Top line to mark.  
 Press and hold Left mouse button to scroll upwards repeatedly. Right: downwards.

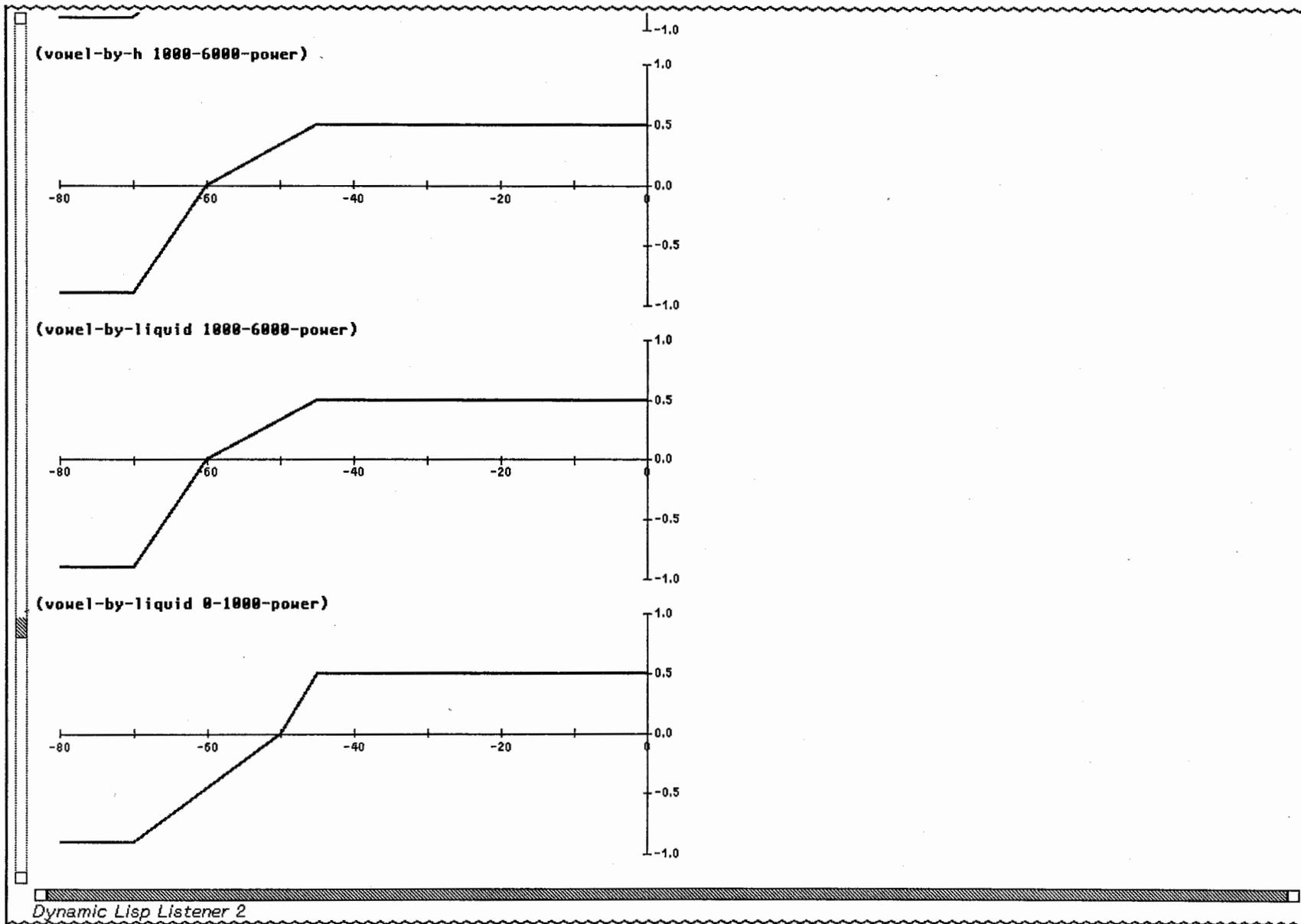
[Wed 22 Mar 4:36:52] Keyboard

CL RCU:

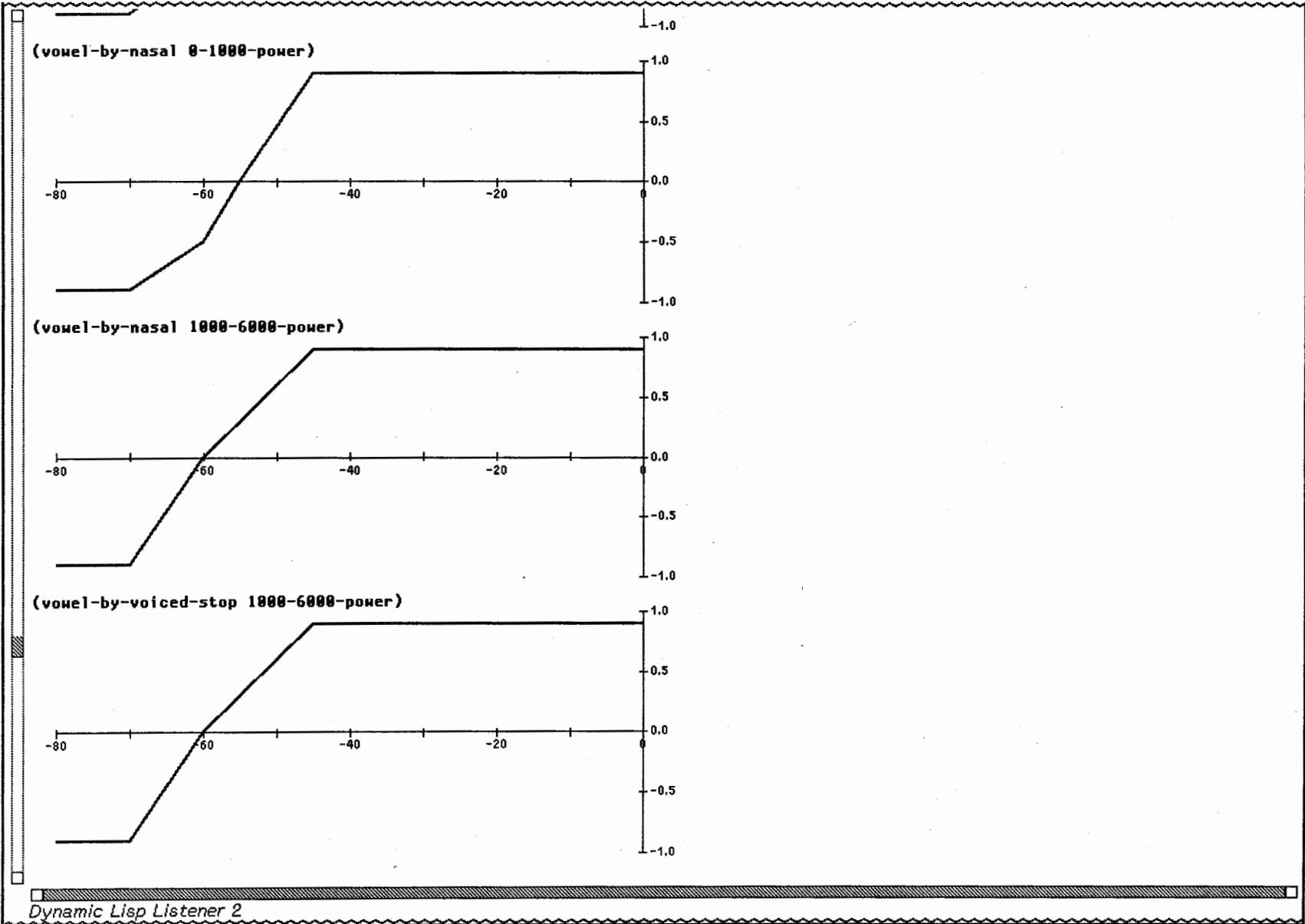
User Input



Left: Marked line to top (shift-Left: to bottom); Middle: Move to 97% of history; Right: Top line to mark. Press and hold Left mouse button to scroll upwards repeatedly. Right: downwards.

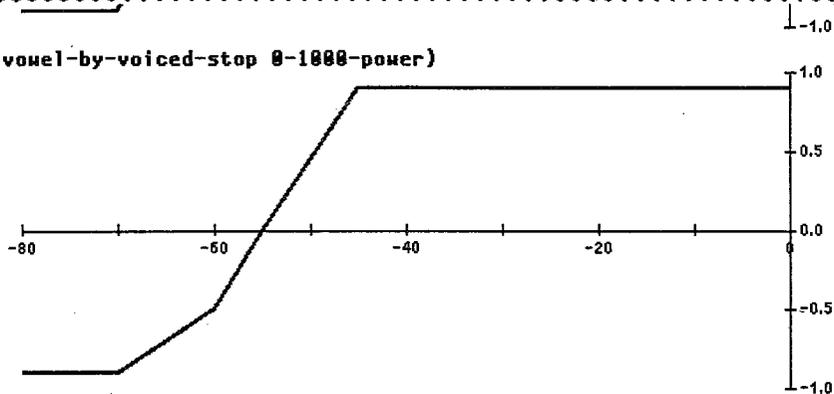


Left: Marked line to top (shift-Left: to bottom); Middle: Move to 97% of history; Right: Top line to mark.  
 Press and hold Left mouse button to scroll upwards repeatedly. Right: downwards.

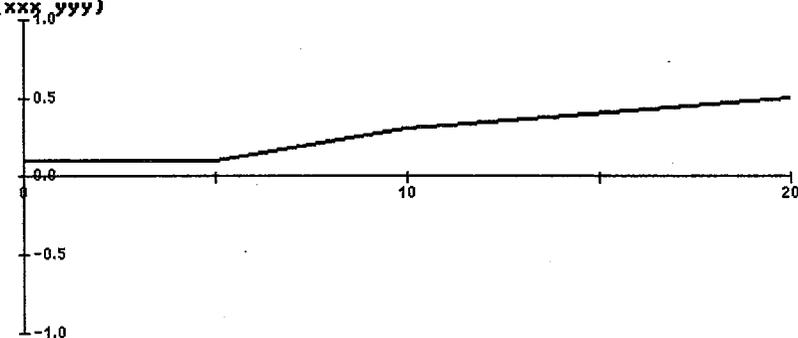


Left: Marked line to top (shift-Left: to bottom); Middle: Move to 97% of history; Right: Top line to mark.  
 Press and hold Left mouse button to scroll upwards repeatedly. Right: downwards.

(vowel-by-voiced-stop 0-1000-power)



(xxx\_yyy)



NIL

[13:10:56 Unable to hardcopy window: Attempt to write to #<CHAOS:CHAOS-TOKEN-LIST-STREAM 330314435>, which has already been closed.]

[13:12:35 Unable to hardcopy window: Attempt to write to #<CHAOS:CHAOS-TOKEN-LIST-STREAM 41365145>, which has already been closed.]

[13:15:38 From LM01: Your request of 3/22/89 13:05:20 ("Screen Hardcopy") has finished printing on LGP8-J ON ATR-LM01.]

[13:21:28 Unable to hardcopy window: Attempt to write to #<CHAOS:CHAOS-TOKEN-LIST-STREAM 414170027>, which has already been closed.]

[13:21:28 Unable to hardcopy window: Attempt to write to #<CHAOS:CHAOS-TOKEN-LIST-STREAM 414167772>, which has already been closed.]

[13:21:30 Unable to hardcopy window: Attempt to write to #<CHAOS:CHAOS-TOKEN-LIST-STREAM 414167735>, which has already been closed.]

[13:21:28 Unable to hardcopy window: Attempt to write to #<CHAOS:CHAOS-TOKEN-LIST-STREAM 17116315>, which has already been closed.]

Command: [Abort]

Back to Lisp Top Level in Dynamic Lisp Listener 2.

Dynamic Lisp Listener 2

Left: Marked line to top (shift-Left: to bottom); Middle: Move to 97% of history; Right: Top line to mark.  
Press and hold Left mouse button to scroll upwards repeatedly. Right: downwards.

[Wed 22 Mar 3:42:31] Tanaka

CL ACU:

User Input